

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. Walter Krauland
und dem Institut für Landverkehrsmittel
— ehem. Institut für Kraftfahrzeuge,
Direktor: Prof. Dr. techn. Ernst Fiala —
der Technischen Universität Berlin
Direktor: Professor Dr.-Ing. Hermann Appel

Biomechanische Untersuchungen über die Festigkeit von Rippen

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Claudia Kohl geb. Bastini
aus Altenberg im Erzgebirge

1975



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41533913_0012

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. Walter Krauland
und dem Institut für Landverkehrsmittel
– ehem. Institut für Kraftfahrzeuge,
Direktor: Prof. Dr. techn. Ernst Fiala –
der Technischen Universität Berlin
Direktor: Professor Dr.-Ing. Hermann Appel

Biomechanische Untersuchungen über die Festigkeit von Rippen

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Claudia Kohl geb. Bastini
aus Altenberg im Erzgebirge

Referent: Prof. Dr. med. Walter Krauland

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Hermann Appel



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 24.9.1975

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

I. Einleitung	3
II. Voraussetzungen für die Versuche	8
III. Versuchsbedingungen	10
a) Versuchsmaterial	10
b) Beschreibung der Belastungseinrichtung ..	10
IV. Versuchsdurchführung	16
V. Versuchsergebnisse	21
a) Tabellarische Übersichten mit Erklärung der statistischen Kenngrößen	23
b) Diagramm der einzelnen Rippenmerkmale als Funktion des Lebensalters	82
c) Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	101
VI. Vergleichbarkeit zwischen Menschen- und Schweinerippen	109
VII. Diskussion	126
VIII. Zusammenfassung	136
IX. Literaturverzeichnis	138
X. Nachwort	157
Lebenslauf	158

I. E I N L E I T U N G

Die Forschung über Verletzungen bei Flugzeugbruchlandungen bzw. Kraftfahrzeugzusammenstößen begann im Zweiten Weltkrieg und hatte ihren Hauptsitz an der Medizinischen Fakultät der Cornell Universität in New York. Eines ihrer Hauptziele war die Wechselbeziehung von Unfälleinheiten und Unfallpathologie. Primär sollte sichergestellt werden, inwieweit Sicherheitsgurte in Flugzeugen die Insassen schützen oder gar töten können.

Anlaß zu diesen Untersuchungen bot Hugh de Haven, einer der Mitbegründer dieses Programms, der 1918 ein Flugzeugunglück der US - Luftwaffe überlebte. Er war in 152,4 m (500 feet) Höhe von rückwärts gerammt worden und abgestürzt. Dabei erlitt er vornehmlich interne Verletzungen (Rupturen von Leber, Gallenblase und Pankreas), brach sich beide Beine und zog sich Quetschungen und Schürfungen zu, jedoch keine Kopfverletzungen. Nach seiner Genesung studierte er in der Nähe von Toronto Flugzeugunfälle und die dabei aufgetretenen Verletzungen. Seine Verbesserungsvorschläge für die Konstruktion von weniger verletzenden Flugzeuginnenräumen und sinnvollereren Sicherheitsgurten hätten fast zur Einweisung in eine Nervenheilanstalt geführt. De Havens Glück war es, daß der Krieg eben vorüber war und er nicht mehr zur Luftwaffe gehörte. Seine Vorgesetzten sahen nämlich den Sinn seiner Vorschläge nicht ein. Sicherheit im Flugwesen erschien ihnen unvorstellbar. Sie rechneten mit ihrem Glück, ihrer Geschicklichkeit und allenfalls dem, was sie als "Jesus-factor" bezeichneten.

1935 wurde er Zeuge eines Autounfalls, der seine Kriegserinnerungen wieder wach rief. 1938 begann er seine Studie über den Fall aus 15,24 - 45,72 m (50 - 150 feet). Acht dieser Ereignisse veröffentlichte er 1942, woraufhin das

Verbindungsprogramm zwischen dem Sicherheitsbüro der Zivilen Luftfahrt und dem Nationalen Forschungsrat möglich wurde.

In seiner Arbeit hatte er die These aufgestellt, daß der menschliche Körper eine Kraft aushalten könne, die etwa dem 200-fachen seines Eigengewichtes entspricht. Außerdem sei es möglich, Konstruktionen zu entwickeln, die den Unfallstoß vermindern und den Druck verteilen. Damit ließe sich die Zahl der Unfalltoten beträchtlich verringern.

Als konstruktive Maßnahme wurden daraufhin an der Cornell Universität in New York durch Zentrifugenversuche die Sicherheitsgurte entwickelt. (vgl. 42, 43)

Die mehr auf Straßenverkehrsunfälle ausgerichtete Forschung begann 1950 mit einem Vertrag zwischen der Cornell Universität und dem Staat Indiana. Es wurde das "Automobil Crash Injury Research Programme (ACIR)" zur Weiterentwicklung der Sicherheitsmaßnahmen in Kraftfahrzeugen begründet.

Ziel dieser Forschung ist die Entwicklung von Erträglichkeitswerten für verschiedene Körperabschnitte und Organe, sowie die Anpassung der Kraftfahrzeuge und spezieller Sicherheitseinrichtungen an die physiologischen Normen. Das System Fahrzeug-Sicherheitskonstruktion-Mensch bildet eine Einheit.

Die Wechselwirkung zwischen physikalischen Größen und lebendigen Körpern ist Inhalt der Biophysik. Um diese in Bezug auf das oben genannte System zu erforschen, sind Simulationsteste durchgeführt worden. Zur Untersuchung des Fahrzeuges dienen Kollisionsteste, Einzelkollisionen mittels Schlitten oder Schleudersitz, mathematische Modelle mit Digital- oder Analogrechner und aus der Endstellung

rechnerisch ermittelte Rekonstruktionen von Straßenverkehrsunfällen. Der Simulation der Unfallopfer dienen Untersuchungen an menschlichen freiwilligen Versuchspersonen, Versuchstieren, Leichen, ständig weiterentwickelten anthropometrischen Puppen und Computer-Modellen. (60) Die Kenntnis der Physik des Kraftfahrzeugunfalls in Bezug auf Fahrzeug und Insassen bei frontaler Kollision, Front-zu-Seit-Kollision, Auffahrunfall, Unterfahren von LKW's, Schleuderunfall, Fahrzeugbrand, Unfällen mit Kleinfahrzeugen und Frontlenkern sowie verletzende Innenkonstruktionen veranlaßt den Ingenieur zu der Frage nach der kritischen Deformationsarbeit für die verschiedenen Körperstellen, Anstoßrichtungen und -flächen. (53)

De Haven erkannte bei seiner Untersuchung in den 20er Jahren als Hauptursache für die relativ geringen Verletzungen bei Sturz aus größeren Höhen neben dem Aufprall auf nachgiebige Strukturen das Aufkommen mit einer großen Körperoberfläche.

Je größer also die Fläche ist, über die eine Kraft auf den Körper übertragen wird, um so geringer ist die Verletzungsgefahr. Bekannt ist ebenfalls, daß ein Insasse eines Fahrzeuges, der fest mit diesem verbunden ist, auch mit ihm abgebremst wird. (vgl. 30) Um diese Anforderung zu erfüllen, werden die anfänglich einfachen und unzulänglichen Sicherheitsgurte ständig weiterentwickelt. Durch den Einbau von plastischen Dehngliedern in ein möglichst steifes Gurtband wird die Schutzwirkung von 3 - Punktgurten noch gesteigert. Dabei treten in allen Gurtteilen geringere Kräfte auf. Die Möglichkeit, daß durch den Gurt selbst Verletzungen auftreten, ist verringert. (56)

Aus Unfallstatistiken ist bekannt, daß 50 % aller Thoraxtraumen durch Verkehrsunfälle bedingt sind. Nebenverletzungen bestehen in 70 %. Die Mortalität liegt bei 25 %.

Rippenfrakturen finden sich meist an den mittleren Rippen. Bis zu 20 % schwerer intrathoracaler Verletzungen sind bei intakten Rippen beschrieben. Unbekannt bei diesen Untersuchungen bleibt das Maß und die Art der Gewalteinwirkung. Weiterhin besteht die Frage nach der Belastbarkeit des menschlichen Thorax. Unterschiedliche Untersuchungen ergeben kaum statistisch verwertbare Belastbarkeiten.

Wie weit Unterschiede zwischen der Belastbarkeit des Thorax von Versuchspersonen, menschlichen Leichen, lebenden und toten Tieren bestehen, ist mehrfach diskutiert worden.

Im Rahmen einer Forschungsserie des Verbandes der Automobilindustrie e.V., Frankfurt/Main wurden in Zusammenarbeit des Institutes für Landverkehrsmittel - ehem. Institut für Kraftfahrzeuge der Technischen Universität Berlin - (Direktor: Prof. Dr. - Ing. H. Appel, ehem. Prof. Dr. techn. E. Fiala) mit dem Institut für Rechtsmedizin der Freien Universität Berlin (Direktor: Prof. Dr. med. W. Krauland) einzelne menschliche Rippen bis zum Bruch auf Biegung beansprucht. Die technische Leitung hatte Herr Dr. - Ing. B. Fabricius.

Rippenlänge, -krümmung, -breite, -dicke, Druckkraft, Verformung, Bruchbiegespannung und aufgenommene Deformationsenergie wurden gemessen bzw. mit der Digitalrechenanlage berechnet.

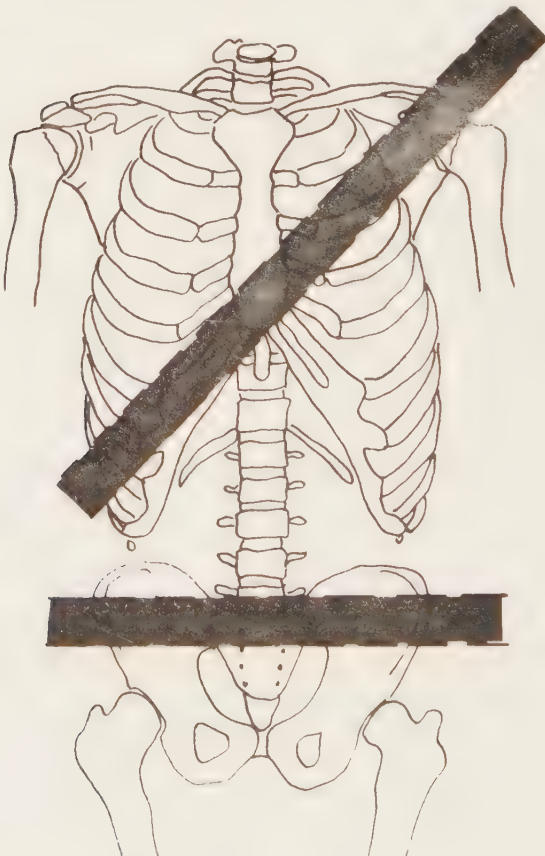
Die medizinische Aufgabe bei den Versuchen, über die in der vorliegenden Dissertation berichtet wird, liegt in der Auswertung der gemessenen Werte nach Alter und Geschlecht der betreffenden Person und die Ermittlung der Streubreiten um die statistischen Mittelwerte. Da Untersuchungen mit lebenden Menschen und Schweinen bis zur Belastbarkeitsgrenze durchgeführt werden konnten (30, 60, 93, 131 u.a.), soll durch gleiche Untersuchungen an

Schweinerippen festgestellt werden, ob Parallelen zwischen der Belastbarkeit des Menschen und der Schweine möglich sind.

Die von Herrn Dr. med. von Kurnatowski im Rahmen des gleichen Forschungsprogrammes durchgeführte Untersuchungsreihe an lebenden und toten Schweinen ergab keine wesentlichen Unterschiede in der Belastbarkeit von lebenden und toten Tieren.

II. VORAUSSATZUNG DER BEIDEN VERSUCHE

3 - Punkt - Sicherheitsgurte verlaufen von der Schulter über den Thorax zur gegenüberliegenden Hüfte und in Höhe der Beckenkämme über den Leib zurück. Am Thorax liegen sie besonders den mittleren, am stärksten hervorspringenden Rippen an.



Schematische Darstellung des Gurtverlaufes von
3 - Punkt - Gurten

Stellt man sich die Gurtwirkung bei einem Unfall als Druck von frontal nach dorsal vor, werden die betroffenen Rippen durch Kompression des Brustkorbes auf Biegung beansprucht.



Übereinanderprojektion von Röntgenbildern eines menschlichen Thorax in Normalstellung und unter manueller Kompression

III. VERSUCHSERGEBNINGEN

a) Versuchsmaterial

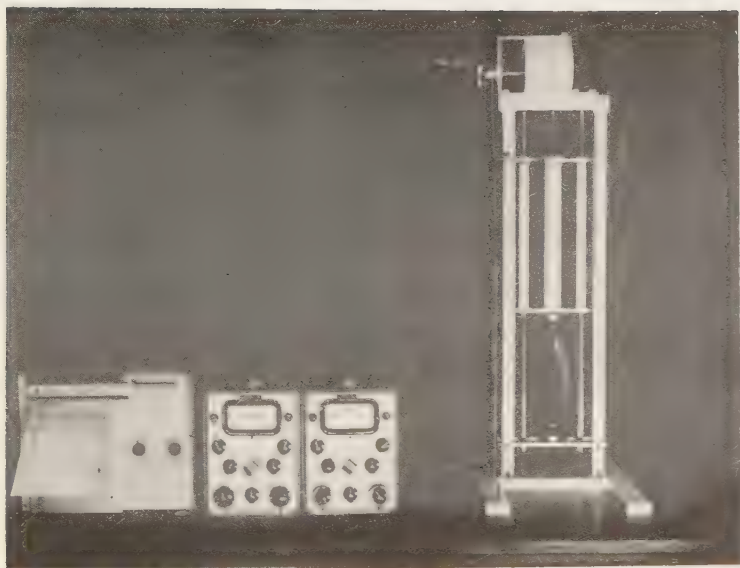
Durch ihre hervorspringende anatomische Lage sind bei Thoraxverletzungen die mittleren Rippen am häufigsten von Frakturen betroffen. Um vergleichbare Werte zu erhalten, wurden jeweils die 6. Rippen benutzt. Diese wurden für die Versuche aus menschlichen Leichen und Schweinekadavern entnommen und vom umgebenden Muskelgewebe befreit. Das Periost blieb unbeschädigt. Die Belastung der Rippen erfolgte meist sofort nach der Sektion. War dies nicht möglich, wurden die Rippen im Kühlraum bei -4°C aufbewahrt.

b) Beschreibung der Belastungseinrichtung

Die Rippen sollten durch eine Druckkraft belastet werden, die an den Enden der Rippen angreift. Die gleiche Belastung entsteht beim Aufprall auf Fahrzeugteile oder bei der Halterung durch Gurte, wenn das vordere Ende der Rippe fixiert ist und ein Teil der Körpermasse über die Wirbelsäule nachschiebt.

Die Belastungseinrichtung besteht aus einem Gestell und einem längs durch zwei Führungsstangen vertikal verschiebbaren Teil (s. Abb. S. 11). An diesem Teil befindet sich eine Gewindemuffe. Durch Drehen des Handrades wird über ein Untersetzungsgetriebe und eine Spindel der verschiebbare Teil abwärts bewegt und die senkrecht stehende Rippe durch eine Druckkraft belastet.

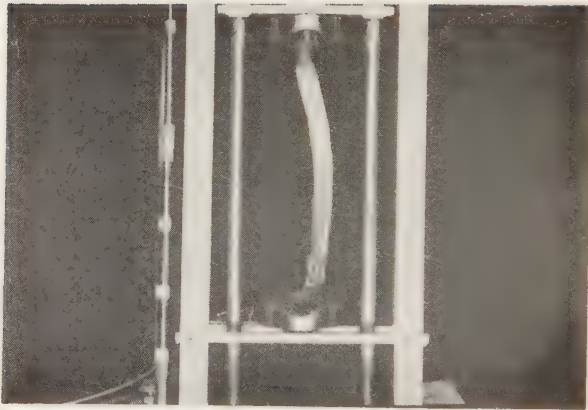
Die Einleitung der Kraft auf das Ende der Rippe muß so erfolgen, daß nicht an der Einspannungstelle ungewollte Biege- oder Torsionsmomente entstehen, sondern durch die Ein-



Gesamtansicht der Belastungseinrichtung. Sie besteht aus einem Gestell und einem vertikal beweglichen Teil. Die Druckkraft wird über das Handrad und eine Spindel aufgebracht. Links daneben sind die Meßgeräte (1 Trägerfrequenzmeßverstärker, 1 Lichtstrahloszilllograph) sichtbar.

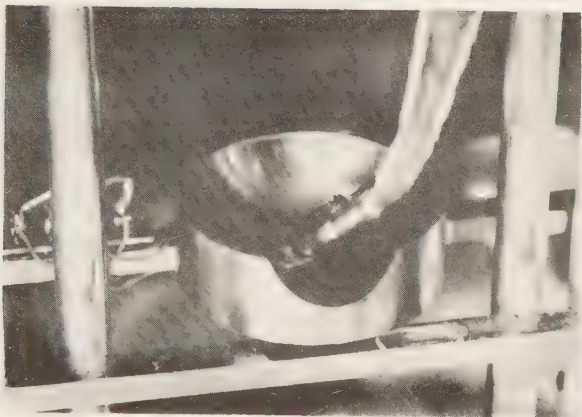
spannung weitere Momente eingeleitet werden. Es muß berücksichtigt werden, daß die Rippen räumlich gekrümmt sind, daß erhebliche Unterschiede in den Abmessungen auftreten und daß sich die Rippe durch die Belastung stark deformiert.

Ursprünglich wurde vorgesehen, die Enden der Rippen in Honklappern fest einzuspannen und die Einspanntiefe an



Die Rippen stehen senkrecht in der Belastungseinrichtung. Die Einleitung der Druckkraft erfolgt über 2 Kugelpfannen. Ganz links ist der induktive Weggeber zu sehen. Die untere Kugelschale drückt auf ein Kraftmeßglied mit Dehnmeßstreifen.

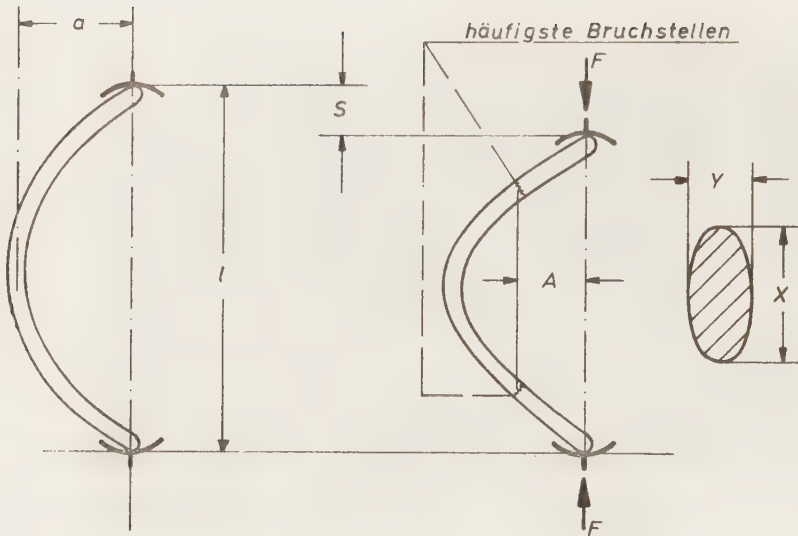
der Unterlage und an dem beweglichen Teil gelenkig zu lagern. Wegen der jeweils unterschiedlichen räumlichen Krümmung der Rippen war dieses Verfahren jedoch ungeeignet. Anschließend wurde versucht, die Einspannungsstücke an der Unterlage und an dem vertikal beweglichen Teil kugelig zu lagern, so daß die räumliche Krümmung der Rippe ohne Einfluß bleibt. Somit konnten die Rippen zwar gut eingespannt werden, es zeigte sich jedoch, daß die Einspannung in Hohlkörpern nicht möglich war. Um die Rippenenden in den Einspannungsstücken festzuspannen, mußten sie durch Schrauben zwischen zwei Flächen geklemmt werden. Durch die hohe notwendige Flächenpressung wurden die Rippen teilweise beschädigt, so daß sie nicht an den physiologisch reellen Stellen (s. Abb. S.14), sondern direkt an der Einspannstelle brachen. Bei ungenügender Einspannung rutschte die Rippe



Krafteinleitung am Ende der Rippe. Durch die Kugelschale ist die Rippe zentriert, und es können keine weiteren Momente eingeleitet werden. Die Aussparung verhindert, daß sich die Rippe bei starker Deformation an den Rand der Schale anlegt.

dagegen aus der Spannvorrichtung heraus, wenn größere Druckkräfte aufgebracht wurden.

Als günstigste Lösung wurde daher eine Belastung ohne Einspannung gewählt. Die Rippe wird lediglich zwischen zwei Kugelschalen mit einem Radius von 40 mm gebracht (s. Abb. oben u. S. 12). Die Kugelform bewirkt, daß sich der Angriffspunkt der Druckkraft in der Mittellinie der Spindel einstellt. Außer der Druckkraft werden keine weiteren Kräfte oder Momente eingeleitet. Eine Aussparung in der Kugelschale verhindert, daß sich die Rippe bei der Durchbiegung an den Rand der Schale anlegen kann.

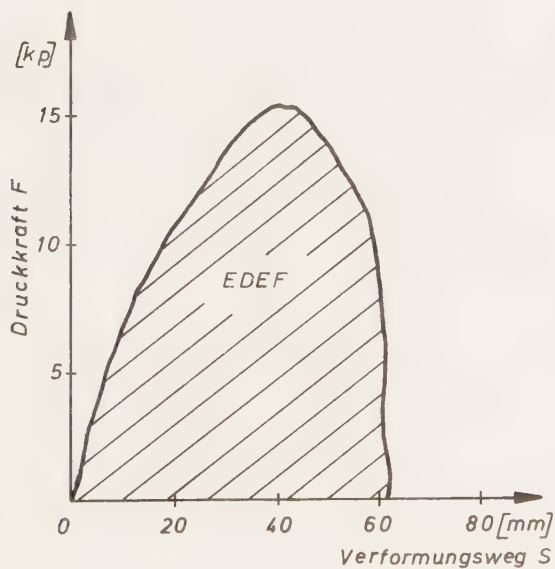
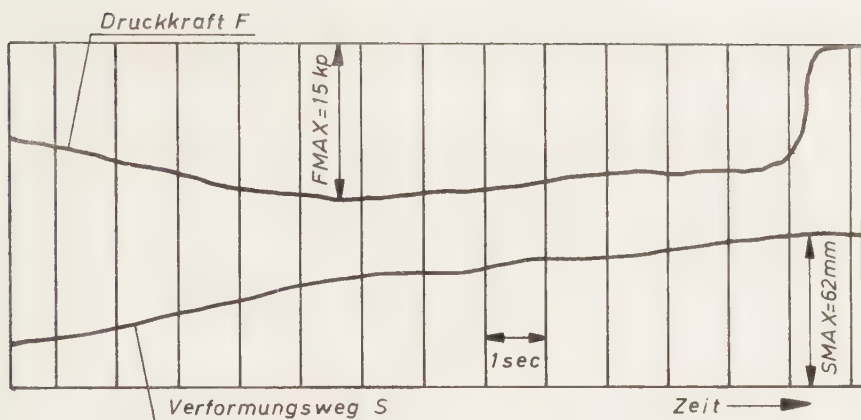


- l = Länge der unbelasteten Rippe (mm)
- a = Pfeilhöhe der unbelasteten Rippe (mm)
- S = Verformungsweg (mm)
- F = Verformungskraft (kp)
- A = Abstand der Mittellinie der Rippe an der Bruchstelle vom Mittelpunkt der Druckkraft (= Hebelarm des an der Bruchstelle wirkenden Biegemomentes) (mm)
- X = Breite der Rippe an der Bruchstelle (mm)
- Y = Dicke der Rippe an der Bruchstelle (mm)

Maße und mechanische Größen der Rippe

Der Hub der Spindel ist so bemessen, daß alle Größen von Rippen (einschließlich der Rippen von Kleinstkindern) eingespannt werden können.

Während des Versuches wurden durch einen Lichtstrahl-oscillographen die Meßwerte von Druckkraft F und Verformungsweg S als Funktion der Zeit aufgezeichnet (s. Abb. S. 15).



Auswertung eines Meßschriebes. Oben Meßschrieb mit F und S als Funktion der Zeit. Darunter Kraft-Weg-Diagramm der Rippe (Versuch Nr. 316).

IV. V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G

1) Messungen vor dem Versuch

l [mm] Länge der unbelasteten Rippe

a [mm] Pfeilhöhe der unbelasteten Rippe

2) Einspannen der Rippe in die Belastungseinrichtung

3) Messungen während des Versuches

S [mm] Verformungsweg. Messung durch einen induktiven Weggeber (Tauchspule) über einen Trägerfrequenzmeßverstärker

F [kp] Verformungskraft. Messung über ein Kraftmeßglied mit Dehnmeßstreifen, welches als Träger für die untere Kugelschale diente, über einen Trägerfrequenzmeßverstärker.

Beide Werte wurden während des Versuches durch einen Lichtstrahloszillographen als Funktion der Zeit aufgezeichnet.

4) Entnahme der Rippe aus der Belastungseinrichtung

1) Messungen nach dem Versuch

A [mm] Abstand der Mittellinie der Rippe an der Bruchstelle vom Mittelpunkt der Druckkraft (= Hebelarm des an der Bruchstelle wirkenden Biegemomentes)

X [mm] Breite der Rippe an der Bruchstelle

t [mm] Dicke der Rippe an der Bruchstelle

6) Auswertung der Meßwerte

a) mechanische Größen

Die Rippe wird wegen ihrer Krümmung durch die Druckkraft auf Biegung beansprucht. Im Moment des Bruches wirkt an der Bruchstelle das Biegemoment

$$M = F \cdot A \left[\text{mm kp} \right]$$

und es entsteht die Biegespannung

$$\text{SIGMA} = \frac{M}{W} \left[\frac{\text{kp}}{\text{mm}^2} \right]$$

mit dem Widerstandsmoment

$$W \left[\text{mm}^3 \right] .$$

Die mittlere Biegespannung wurde bei diesen Versuchen unter folgenden Annahmen ermittelt:

- a) Die Rippe besteht aus homogenem Material,
- b) Die Bruchstelle hat elliptischen Querschnitt.

Mit diesen Vereinfachungen berechnet sich das Widerstandsmoment

$$W = \frac{\pi \cdot X \cdot Y^2}{32} \left[\text{mm}^3 \right] .$$

Bis zum Bruch hat die Rippe die Deformationsenergie

$$\text{EDEF} = \int F \, dS \left[\text{mm kp} \right]$$

aufgenommen.

Aus den Meßschrieben (Kraft F und Deformationsweg S über der Zeit) werden nun zunächst paarweise Zahlenwerte der Kraft F und des Weges S entnommen. Wegen der großen Zahl der anfallenden Daten, der Notwendigkeit, immer gleiche Reihenoperationen durchzuführen und zur statistischen Auswertung wurden die

Meßdaten im Prozeßrechner PDP 9 am Institut für Landverkehrsmittel - ehem. Institut für Kraftfahrzeuge - weiterverarbeitet.

Zur Auswertung wurden folgende Daten auf Lochstreifen aufgenommen:

Versuchsnummern, A, X, Y, paarweise Werte von S und F, Alter, Geschlecht.

Der Rechner berechnet die Werte W, EDEF, M und SIGMA und schreibt für jeden Versuch eine Zeile auf dem Fernschreiber aus mit:

Versuchsnummer, A, X, Y, W, EDEF, FMAX (größte Druckkraft, meist kurz vor dem Bruch), SMAX (Deformation bis Druckkraft F wieder = 0 wird), M, SIGMA, Alter, Geschlecht.

b) statistische Größen

Alle Daten sind nach der Reihenfolge der Versuche auf einem Lochstreifen gespeichert worden. Das Rechenprogramm war so abgestellt, daß bei einem Durchgang des Streifens nur eine bestimmte Gruppe von Versuchen nach Alter und Geschlecht der Verstorbenen ausgewertet wurde. Hierzu wurde vor der Auswertung eingegeben:

- a) untere Altersgrenze,
- b) obere Altersgrenze,
- c) Geschlecht, I) nur männliche (Ziffer 1),
 II) nur weibliche (Ziffer 0),
 III) Schweine (Ziffer 2).

Nur die Versuche der dadurch bestimmten Gruppen wurden ausgewertet und ausgeschrieben. War der Lochstreifen ganz durchgelaufen, so begann die statistische Rechnung, und die statistischen Werte wurden ausgeschrieben. Anschließend wurde der Lochstreifen für eine weitere Personengruppe neu eingelegt. (Sollten alle Versuche ausgewertet werden, so wählten wir die Altersgruppe von 0 bis 100 Jahre, beide Geschlechter.)

Bei der statistischen Auswertung wurde für die betreffende Gruppe und jeweils für die Einzelwerte: A, X, Y, W, EDEF, FMAX, M, SIGMA der Mittelwert, die Standardabweichung und der Variationskoeffizient berechnet (45). Es ist aus n Ziffern

$$x_1, x_2, x_3 \dots x_n$$

der arithmetische Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

die Standardabweichung

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]}$$

und der Variationskoeffizient

$$v = \frac{s}{|\bar{x}|}.$$

Die Abbildung S. 20 zeigt die vollständige Auswertung einer Altersgruppe (Unterteilung jeweils in 10 - Jahresabschnitten).

... von ...

St.	A	M	Y	Z	1914	1915	1916	1917	1918
7	110.	17.7	8.8	102.17	270.30	12.5	35.0	137.5	2.1
8	110.	15.0	7.5	82.13	174.50	9.5	22.0	125.5	12.1
12	133.	11.7	6.0	41.35	231.75	11.5	33.0	123.7	12.1
17	85.	17.0	5.5	82.86	270.30	13.5	41.0	125.1	1.1
19	75.	15.5	6.7	68.31	230.75	10.5	31.0	73.7	11.1
23	95.	13.7	5.5	40.59	132.30	8.1	27.3	78.9	1.1
26	117.	15.0	6.2	69.11	192.50	7.5	52.0	73.1	1.1
27	.	13.7	7.8	81.83	237.50	12.5	50.1	123.1	12.1
41	62.	15.1	5.2	33.82	154.50	7.5	50.0	66.1	1.1
43	67.	14.1	6.1	49.45	210.50	10.0	33.1	57.1	11.1
47	135.	13.0	7.2	66.16	634.50	15.0	66.0	15.0	1.1
49	55.	14.4	7.1	71.27	72.50	7.5	22.0	41.2	1.1
64	105.	17.3	7.2	33.05	235.00	10.5	40.0	11.0	12.1
65	120.	15.8	9.0	123.64	331.75	9.5	55.0	114.1	9.1
81	85.	15.0	7.9	91.91	434.75	16.0	44.0	136.0	14.1
82	90.	14.8	7.6	83.92	529.90	15.0	52.1	125.0	16.1
127	95.	16.1	8.0	101.16	356.50	12.5	44.1	113.7	11.1
128	100.	13.2	8.3	89.27	206.00	7.5	40.0	55.0	8.1
18	91.	15.0	7.1	76.48	278.75	10.7	41.4	98.4	13.82
18.	1.8	1.1	28.30	144.07	2.7	11.3	320.	5.45	S
0.196	0.117	0.162	0.370	0.517	0.256	0.286	0.325	0.394	V

Berechnung der mechanischen Größen und statistische Auswertung durch den Digitalrechner.
Für jeden Versuch wird zunächst eine Zeile mit den gemessenen bzw. berechneten mechanischen Daten ausgeschrieben (obere Zahlengruppe). Ist der Lochstreifen ganz durchgelaufen, sind also alle Versuche der gewählten Altersgruppe (hier 51-60 Jahre, männlich) ausgeschrieben, so werden anschließend die statistischen Werte ausgedruckt. Unter der ersten Spalte (Versuchsnummer) steht die Anzahl der Werte in jeder Spalte (Anzahl der Versuche dieser Altersgruppe, hier 18). Unter den anderen Spalten steht zuerst der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$, darunter die Standardabweichung s , darunter der Variationskoeffizient v .

V. V E R S U C H S E R G E B N I S S E

400 menschliche Rippen und 40 Schweinerippen werden einzeln auf ihre Festigkeitseigenschaften untersucht. Wegen technischer Schwierigkeiten (s. S.29) können nur 305 Versuche an menschlichen und 36 Versuche an Schweinerippen in die Datenverarbeitung einbezogen werden. Besonders muß darauf hingewiesen werden, daß die Rippen der niedrigen Altersklassen sehr gering vertreten sind. Diese Rippen sind nicht nur sehr schwer erhältlich. Sie gehören auch zu den am stärksten belastbaren, die unter der Versuchsanordnung stärkste Verformbarkeit aufweisen, jedoch nicht brechen.

Zur besseren Übersicht sind alle Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengefaßt. Die Aufstellungen (s. S. 101-108) veranschaulichen die durch die Untersuchungen gewonnenen Daten.

Entnommen wurden jeweils die 6. Rippen direkt vor Beendigung der Sektion. Sie wurden ohne Beschädigung des Periostes vom umgebenden Muskelgewebe befreit. Da aus der Krümmung der Rippe die Berechnung des Biegemomentes erfolgt, konnten nur unverletzte, aus den gelenkigen Verbindungen der Wirbelsäule gelöste und vom Cartilago costalis befreite Rippen benutzt werden.

Wie aus der Aufzeichnung der Schriebe im folgenden Abschnitt ersichtlich ist (vgl. auch Abb. S. 14), wurden von jeder Rippe gemessen bzw. berechnet:

NR	= Versuchsnummer bzw. , bei den statistischen Kenngrößen, Anzahl der Versuche
l	= Länge der unbelasteten Rippe (mm)
a	= Pfeilhöhe der unbelasteten Rippe (mm)
S	= Verformungsweg (mm)
F	= Verformungskraft (kp)
A	= Hebelarm (mm)
X	= Rippenbreite (mm)
Y	= Rippendicke (mm)
W	= Widerstandsmoment (mm^3)
EDEF	= aufgenommene Deformationsenergie (mm kp)
FMAX	= maximale Verformungskraft (kp)
SMAX	= maximaler Verformungsweg (mm)
M	= Biegemoment (mm kp)
SIGMA	= Bruchbiegespannung (kp/mm^2)

und davon je nach Abruf die statistischen Kenngrößen

$\bar{x}$	= arithmetischer Mittelwert
s	= Standardabweichung
v	= Variationskoeffizient

einer bestimmten Altersklasse und eines Geschlechtes.

Zunächst folgen wertungslos a) die tabellarischen Übersichten über alle ausgewerteten Versuche an menschlichen und Schweinerippen mit kurzer Erklärung der statistischen Kenngrößen und daran anschließend b) Diagramme der einzelnen Rippenmerkmale als Funktion des Lebensalters mit Erläuterungen. Abschließend erfolgt c) eine tabellarische Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

a) Tabellarische Übersichten mit Erklärung der statistischen Kenngrößen

ALTERSBEREICH VON 0 BIS 100 JAHRE
BEIDE GESCHLECHTER

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	AL.	ST.
1	115.	11.4	7.5	62.95	765.50	16.5	66.0	1897.	30.14	25	1
2	92.	14.1	5.6	43.41	321.00	11.0	42.0	1012.	23.31	18	1
3	125.	10.0	8.1	64.41	854.50	14.0	81.0	1750.	27.17	47	1
4	100.	12.7	4.6	26.38	239.00	7.0	48.0	700.	26.53	31	1
6	100.	15.0	8.8	114.04	1169.00	16.5	102.0	1650.	14.47	21	1
7	110.	18.7	8.8	142.17	270.00	12.5	36.0	1375.	9.67	53	1
8	110.	15.0	7.5	82.83	104.50	9.5	22.0	1045.	12.62	53	1
10	80.	17.8	4.6	36.98	76.50	1.5	62.0	120.	3.25	36	1
11	95.	14.6	7.5	80.63	290.50	8.0	52.0	760.	9.43	45	1
12	105.	11.7	6.0	41.35	231.00	11.5	38.0	1207.	29.20	57	1
13	105.	13.7	6.5	56.83	460.00	14.5	58.0	1522.	26.79	75	1
14	90.	12.6	6.4	50.67	349.50	11.5	46.0	1035.	20.43	30	1
15	100.	11.8	4.8	26.69	236.50	7.0	54.0	700.	26.93	51	0
16	95.	12.2	5.4	34.93	354.50	5.5	80.0	522.	14.96	31	0
17	85.	17.8	5.5	52.86	274.30	10.0	40.4	850.	16.08	57	1
18	105.	17.2	9.6	155.62	395.00	16.0	40.0	1680.	10.80	36	1
19	75.	15.5	6.7	68.31	200.75	10.5	31.0	787.	11.53	57	1
20	115.	10.6	5.2	28.14	310.00	5.0	84.0	575.	20.43	33	0
21	110.	12.2	5.3	33.64	384.00	8.0	68.0	880.	26.16	33	0
22	110.	14.1	5.6	43.41	252.50	10.0	38.0	1100.	25.34	43	1
23	95.	13.7	5.5	40.69	132.00	8.0	27.0	760.	18.68	54	1
24	95.	11.2	5.0	27.49	229.50	6.5	54.0	617.	22.46	51	0
25	100.	18.5	10.2	188.96	147.00	32.5	94.0	3250.	17.20	23	1
26	100.	15.9	6.2	60.00	192.50	7.5	52.0	750.	12.50	56	1
27	78.	14.1	5.6	43.41	390.50	10.5	52.0	819.	18.87	43	1
28	80.	13.7	7.8	81.83	437.50	12.5	50.0	1000.	12.22	60	1
29	70.	16.4	5.8	54.16	186.75	16.5	19.0	1155.	21.32	62	1
30	55.	12.0	4.7	26.02	97.50	5.0	32.0	275.	10.57	51	0
31	45.	11.8	4.4	22.43	88.00	8.0	22.0	360.	16.05	75	1
32	75.	14.0	4.4	26.61	84.00	7.0	24.0	525.	19.73	39	1
33	65.	11.2	5.0	27.49	187.50	7.5	44.0	487.	17.73	72	0
34	75.	15.4	5.2	40.88	97.50	5.0	32.0	375.	9.17	48	1
35	55.	16.0	4.0	25.13	53.50	6.0	15.0	330.	13.13	75	1
38	93.	9.6	6.3	37.41	876.25	12.5	95.0	1162.	31.03	26	0
39	90.	11.0	9.1	89.43	371.50	11.0	50.0	990.	11.07	73	1
40	70.	16.0	7.3	83.71	198.00	13.5	28.0	945.	11.29	62	1
41	62.	15.0	5.2	39.82	164.50	7.5	50.0	465.	11.63	56	1
42	60.	11.3	5.0	27.73	64.00	3.5	30.0	210.	7.57	47	1
43	67.	14.0	6.0	49.48	209.50	10.0	38.0	670.	13.54	56	1
44	80.	10.7	6.1	39.09	535.00	9.5	93.0	760.	19.44	29	1
45	85.	9.6	6.2	36.23	856.50	13.0	102.0	1105.	30.50	29	1
46	75.	11.7	7.2	59.55	61.60	4.0	28.0	300.	5.04	39	1
47	100.	13.0	7.2	66.16	604.50	15.0	66.0	1500.	22.67	54	1
49	55.	14.4	7.1	71.27	72.50	7.5	20.0	412.	5.79	55	1
50	89.	16.0	5.5	47.52	678.00	13.5	68.0	1201.	25.29	42	1
51	82.	10.4	4.2	18.01	260.00	6.5	63.7	533.	29.59	39	1
52	85.	12.3	4.2	21.30	59.00	1.5	68.0	127.	5.99	50	1
53	122.	17.0	9.4	147.47	366.00	13.0	44.0	1586.	10.75	30	1

NR.	A	X	Y	W	EDER	FMAY	SMAY	W	SMAY	W	SMAY
90	103.	12.5	5.5	37.12	632.10	12.5	71.0	1251.	33.69	1	1
91	103.	13.2	6.2	49.81	576.50	17.0	63.0	1347.	31.00	1	1
92	103.	11.7	7.8	59.73	452.50	19.0	72.0	1171.	32.00	1	1
93	89.	17.1	7.2	87.03	352.10	13.0	56.0	820.	31.00	1	1
94	85.	12.9	12.3	134.36	323.00	12.0	57.0	1362.	31.00	1	1
95	95.	14.0	8.3	34.69	241.00	14.0	39.0	121.	31.00	1	1
96	90.	18.3	12.1	258.71	148.00	8.5	34.0	545.	31.00	1	1
97	102.	10.1	7.0	115.68	428.13	11.0	62.0	1171.	31.00	1	1
98	112.	16.0	6.4	64.34	1134.50	23.0	84.0	2240.	31.00	1	1
99	115.	17.2	5.8	56.80	675.50	16.0	74.0	1340.	31.00	26	1
100	105.	17.3	7.2	48.15	295.00	17.5	40.0	1102.	31.00	1	1
101	120.	15.8	9.0	125.64	331.75	11.0	55.0	1143.	31.00	1	1
102	90.	11.0	7.0	59.65	341.50	11.0	42.0	511.	31.00	1	1
103	110.	17.1	7.0	51.25	457.13	11.5	68.0	1265.	31.00	1	1
104	75.	17.7	3.5	11.00	11.00	7.5	21.0	551.	31.00	1	1
105	81.	17.2	7.3	40.99	38.50	7.0	18.0	720.	31.00	1	1
106	105.	13.5	6.5	56.09	635.75	17.0	61.0	1765.	31.38	1	1
107	147.	12.0	6.8	54.48	659.50	13.5	32.0	1470.	26.98	1	1
108	80.	12.5	7.0	69.13	471.50	13.0	52.0	1040.	17.30	1	1
109	110.	12.5	7.0	99.40	884.50	16.5	72.0	1815.	15.26	1	1
110	103.	14.1	7.0	57.81	1133.00	16.5	92.0	1650.	24.33	1	1
111	90.	12.5	7.1	61.86	143.50	7.3	31.0	630.	10.18	1	1
112	90.	13.1	6.4	52.68	161.00	9.0	24.0	411.	15.38	1	1
113	95.	14.1	7.2	71.76	696.00	14.0	70.0	1330.	18.83	1	1
114	110.	11.5	7.7	66.94	935.50	14.0	90.0	1810.	23.01	1	1
115	85.	15.1	7.9	91.91	404.75	16.0	44.0	1364.	14.80	1	1
116	70.	14.8	7.0	83.92	529.93	15.0	57.0	1350.	16.39	1	1
117	75.	8.3	4.3	15.07	346.40	7.0	64.0	675.	44.81	1	1
118	72.	7.7	5.2	23.44	234.60	7.0	62.0	432.	11.11	1	1
119	70.	11.0	5.2	30.09	245.50	7.0	50.0	630.	21.00	1	1
120	105.	13.7	6.1	48.42	468.00	11.0	72.0	1365.	23.10	1	1
121	95.	15.2	6.0	65.00	231.50	7.0	50.0	712.	10.96	1	1
122	101.	17.8	6.2	67.17	311.25	11.0	44.0	1201.	17.86	1	1
123	75.	15.2	5.0	37.31	95.00	7.0	30.0	450.	12.06	1	1
124	100.	13.4	7.3	73.11	129.50	7.0	86.0	201.	11.00	1	1
125	70.	13.0	6.3	37.51	45.50	7.0	36.0	210.	5.60	1	1
126	105.	12.2	6.0	53.77	532.00	7.0	84.0	945.	17.58	1	1
127	110.	10.7	6.0	37.82	337.50	7.0	70.0	825.	21.42	1	1
128	110.	10.0	5.9	34.17	401.50	7.0	90.0	825.	24.14	1	1
129	105.	10.9	4.9	25.69	349.70	7.0	78.0	711.	31.65	1	1
130	100.	13.0	5.6	40.12	524.10	7.0	100.0	1340.	25.42	1	1
131	120.	12.0	5.2	31.36	402.00	7.0	78.0	1701.	32.02	1	1
132	90.	11.0	6.0	15.41	49.11	7.0	70.0	271.	17.52	1	1
133	100.	10.5	4.6	21.81	74.50	7.0	40.0	303.	13.75	1	1
134	115.	11.0	6.2	42.27	490.50	11.0	70.0	1265.	29.73	1	1
135	115.	11.2	8.0	71.37	672.00	11.0	60.0	1380.	19.61	1	1
136	110.	11.6	6.3	26.24	259.10	7.0	60.0	825.	31.44	1	1
137	120.	11.4	5.2	30.26	194.00	7.0	70.0	711.	11.57	1	1
138	90.	15.0	5.0	38.53	178.75	7.0	70.0	675.	17.52	1	1
139	100.	14.9	7.0	59.92	225.25	7.0	91.0	750.	12.52	1	1
140	90.	10.5	3.5	12.63	274.35	7.0	70.0	630.	40.89	1	1
141	80.	12.0	4.3	11.00	11.00	7.0	23.0	560.	20.63	1	1
142	105.	13.7	6.0	30.99	14.00	11.0	30.0	105.	3.30	1	1

NR.	A	X	Y	W	RDER	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALT.	SEX
126	35.	12.3	4.3	21.15	10.00	9.5	39.0	42.	1.74	81	1
127	95.	12.1	7.3	31.16	356.50	12.5	44.0	1187.	11.74	1	1
128	104.	13.2	3.3	89.27	236.00	7.5	40.0	750.	8.00	51	1
129	135.	12.4	6.7	67.37	356.00	6.5	70.0	312.	11.27	70	1
130	115.	12.5	12.7	97.31	618.00	11.5	74.0	1322.	13.52	70	1
131	115.	13.5	7.9	89.55	354.00	9.5	55.0	1322.	12.22	68	1
132	105.	12.6	8.3	79.17	439.00	11.5	52.0	1227.	15.25	66	1
133	120.	13.5	1.1	22.33	226.00	7.0	76.0	840.	37.70	7	1
142	110.	17.7	7.3	85.15	370.00	10.0	62.0	1100.	12.92	22	1
143	115.	18.1	6.3	82.17	224.00	7.5	1.0	862.	10.51	22	1
144	95.	14.0	5.3	40.26	245.00	6.0	62.0	570.	14.16	43	1
145	105.	15.0	5.3	53.72	240.00	6.0	3.0	740.	11.22	43	1
146	120.	13.0	8.0	85.82	408.50	9.5	70.0	114.0	13.23	79	1
147	110.	12.0	7.5	66.27	206.50	6.0	60.0	660.	9.26	79	1
148	35.	13.6	4.1	17.44	50.00	2.5	39.0	212.	9.47	81	1
149	95.	13.5	1.3	21.31	24.00	1.5	28.0	142.	6.72	81	1
150	105.	12.6	6.3	57.20	306.00	6.0	60.0	600.	11.31	83	0
151	70.	13.2	4.1	21.78	240.50	6.5	62.0	455.	20.89	83	0
152	135.	15.0	6.5	67.15	395.00	7.5	76.0	1012.	15.78	60	1
153	105.	17.0	5.0	58.10	284.50	6.5	66.0	682.	11.75	60	1
154	100.	9.7	6.2	36.61	240.00	6.5	56.0	650.	17.76	70	0
155	95.	11.3	6.3	39.94	314.00	8.0	56.0	760.	19.03	70	0
156	100.	13.3	8.0	83.57	345.00	11.5	44.0	1150.	13.76	74	1
157	105.	11.6	8.2	76.57	366.00	11.0	52.0	1155.	15.08	74	1
158	90.	14.6	6.0	51.60	137.50	3.5	58.0	315.	6.10	64	1
159	95.	15.0	5.6	46.18	140.00	5.0	46.0	475.	10.29	64	1
160	65.	15.5	4.1	25.58	101.50	7.0	32.0	455.	17.79	74	1
161	52.	17.5	1.6	36.35	46.50	5.0	16.0	260.	7.15	74	0
162	90.	13.0	6.3	35.34	117.00	6.0	38.0	540.	15.25	69	0
163	35.	10.8	5.3	26.51	169.00	6.0	50.0	480.	18.11	69	0
164	76.	12.7	6.3	49.49	40.00	4.0	18.0	304.	6.14	74	1
165	20.	12.2	4.7	26.46	85.00	3.5	26.0	315.	11.21	74	1
166	90.	11.0	5.0	27.00	148.00	4.5	50.0	405.	15.00	68	0
167	35.	11.2	5.4	32.06	98.50	4.5	30.0	382.	11.93	68	0
168	100.	10.0	5.3	24.54	160.50	4.0	58.0	400.	16.30	87	0
169	95.	9.7	5.0	25.75	244.00	5.0	64.0	475.	18.45	87	0
171	95.	11.2	5.0	27.49	282.50	7.5	56.0	712.	25.22	61	0
172	85.	10.5	6.2	37.11	113.50	5.0	40.0	325.	11.22	71	1
173	83.	13.5	7.3	63.31	72.00	5.0	28.0	410.	6.48	74	1
174	95.	13.0	1.5	27.01	35.00	3.5	33.0	332.	12.31	51	0
175	100.	12.5	3.2	18.67	70.00	3.0	40.0	250.	13.39	51	0
176	104.	12.5	5.0	28.27	57.00	2.5	32.0	250.	3.34	78	0
177	30.	13.3	1.5	27.31	54.00	3.0	3.0	240.	8.89	75	0
178	30.	12.3	8.0	77.28	160.50	5.5	33.0	520.	6.73	63	1
179	120.	11.7	1.4	62.90	127.50	5.5	34.0	780.	12.40	63	1
180	105.	11.4	5.3	27.98	318.50	10.0	62.0	1050.	37.53	40	1
181	83.	13.6	5.1	34.73	286.50	7.0	60.0	560.	16.13	41	1
182	90.	15.0	1.9	35.36	140.50	5.5	52.0	495.	14.30	31	1
183	105.	15.5	5.0	35.35	179.00	7.5	34.0	787.	20.73	31	1
184	100.	10.6	6.0	33.33	185.00	6.0	3.0	400.	10.00	31	0
185	110.	13.9	5.0	33.33	316.00	10.0	134.0	517.	15.43	30	0
186	75.	11.5	5.0	35.41	7.00	3.0	54.0	255.	7.24	30	0
187	100.	12.8	5.0	26.59	75.33	5.5	50.0	250.	9.44	30	0

NR.	A	X	Y	W	SMAX	WMAX	SMAX	W	SIGMA	AIT.	SMX
186	135.	12.3	7.7	62.63	237.77	7.7	52.1	735.	11.74	63	1
189	85.	12.8	7.7	73.43	111.	2.5	52.1	219.	5.41	63	1
194	95.	13.5	6.1	37.11	111.	6.1	52.0	7.	15.35	63	1
195	70.	12.0	4.1	1.	152.	4.1	54.0	245.	13.43	63	1
196	135.	11.4	5.3	31.43	168.17	5.3	62.5	367.	11.67	66	1
197	100.	12.0	3.3	34.35	242.50	3.3	6.1	553.	16.11	66	1
198	70.	16.4	6.1	57.26	133.13	6.1	5.1	353.	6.14	66	1
199	70.	17.2	5.3	60.79	52.11	5.3	1.	353.	5.76	66	1
200	7.	9.3	3.	13.18	35.00	3.3	5.1	213.	15.23	71	1
202	85.	12.4	5.1	35.13	149.50	5.1	5.1	467.	13.17	71	1
213	135.	13.7	5.1	64.13	243.50	5.1	5.1	787.	12.31	71	1
214	125.	14.6	7.	116.17	394.51	7.	5.1	1301.	11.1	71	1
205	120.	14.6	7.3	87.21	439.33	7.3	82.1	7.	11.71	71	1
206	80.	13.9	5.1	12.23	78.10	5.1	40.1	240.	19.54	71	1
207	71.	10.5	5.3	31.1	65.03	5.3	5.1	245.	7.36	71	1
208	105.	16.1	5.2	119.58	153.00	5.2	5.1	7.	7.12	71	1
209	30.	17.7	7.3	85.15	46.50	7.3	1.	7.	4.71	71	1
210	90.	11.3	4.4	21.43	113.30	4.4	5.1	363.	16.75	71	1
211	85.	11.9	5.4	34.17	136.33	5.4	5.1	255.	7.40	71	1
212	70.	11.6	4.3	21.36	33.50	4.3	5.1	163.	7.59	71	0
213	55.	11.5	4.2	19.92	56.44	4.2	5.1	165.	8.23	71	0
214	70.	12.0	5.5	36.95	136.50	5.5	31.1	455.	12.32	71	0
216	80.	12.3	5.3	40.62	85.40	5.3	5.1	5.91	5.91	71	0
217	80.	11.5	7.1	55.32	45.30	7.1	5.1	201.	3.62	71	0
221	80.	13.1	4.1	20.73	111.	4.1	5.1	323.	15.43	71	1
221	80.	13.2	7.7	23.63	133.10	7.7	5.1	443.	15.37	71	1
222	31.	12.5	7.	74.66	57.10	7.	5.1	7.	4.22	71	1
223	35.	15.5	4.2	132.32	36.50	4.2	1.	349.	3.32	71	1
224	115.	12.9	7.7	79.04	115.11	7.7	5.1	432.	5.02	71	1
225	105.	15.1	7.3	83.39	97.53	7.3	36.1	472.	5.67	71	1
226	70.	15.1	7.7	79.03	119.10	7.7	5.1	412.	5.22	71	1
227	70.	12.8	5.3	36.64	119.53	5.3	5.1	412.	11.26	71	1
228	135.	12.5	5.1	57.13	249.53	5.1	5.1	787.	11.1	71	1
229	110.	12.5	5.2	33.18	111.	5.2	5.1	825.	24.46	71	1
230	85.	11.2	7.7	53.60	79.30	7.7	5.1	297.	5.13	71	1
231	65.	11.8	6.2	55.15	97.53	6.2	5.1	382.	5.94	71	1
232	135.	11.3	5.	29.27	73.10	5.	5.1	315.	11.77	71	1
233	35.	11.4	5.	23.63	53.50	5.	5.1	297.	12.55	71	1
234	91.	13.2	5.3	51.43	118.53	5.3	5.1	450.	3.75	71	1
235	85.	13.0	7.	71.79	192.31	7.	5.1	723.	11.06	71	1
236	70.	14.4	5.	44.33	65.60	5.	5.1	357.	3.45	71	1
237	75.	12.0	5.1	39.64	111.	5.1	5.1	375.	12.24	71	1
239	70.	12.3	5.	15.45	111.	5.	5.1	281.	5.66	71	1
241	20.	11.	5.	33.04	113.53	5.	5.1	271.	5.52	71	1
241	70.	16.7	5.	34.50	34.53	5.	1.	7.	3.55	71	1
241	70.	16.5	5.	49.14	32.54	5.	1.	225.	4.59	71	1
243	135.	13.5	5.	64.94	212.10	5.	5.1	753.	11.55	71	1
246	130.	12.7	7.1	62.45	313.53	7.1	5.1	7.	16.55	71	1
245	75.	17.1	5.1	16.13	44.50	5.1	5.1	137.	11.62	71	1
246	74.	15.1	5.	9.21	41.13	5.	5.1	7.	25.42	71	1
247	31.	11.2	5.	39.55	134.13	5.	5.1	7.	7.	71	1
248	70.	11.2	5.3	31.43	151.10	5.3	5.1	7.	12.39	71	0
249	111.	11.7	5.5	53.13	214.1	5.5	5.1	7.	11.79	71	1

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALT.	SEX
250	75.	15.4	7.0	74.08	108.00	4.0	38.0	300.	4.05	75	1
251	85.	13.7	8.2	90.44	121.50	9.5	22.0	807.	8.93	67	1
252	80.	16.0	8.3	103.21	90.00	6.5	24.0	520.	4.31	67	1
253	100.	21.0	7.2	106.88	122.00	6.5	38.0	650.	6.03	82	1
254	100.	23.0	6.0	81.29	129.50	5.0	48.0	500.	6.15	82	1
257	105.	13.7	6.4	55.09	369.50	7.5	62.0	787.	14.29	44	1
258	100.	16.0	6.7	70.51	253.50	7.5	46.0	750.	10.64	44	1
259	90.	15.0	6.9	70.11	232.00	9.5	38.0	855.	12.19	77	1
260	90.	16.4	5.2	43.54	125.00	4.5	52.0	405.	9.30	77	1
261	110.	14.1	6.9	65.90	135.50	6.0	38.0	660.	10.01	79	1
262	110.	14.2	6.8	64.46	235.50	6.5	58.0	715.	11.09	79	1
263	70.	10.9	6.7	48.04	91.00	5.0	23.0	350.	7.29	49	1
265	95.	12.2	5.7	38.91	387.50	7.5	70.0	712.	13.31	45	1
266	95.	12.3	6.0	43.47	152.50	7.5	44.0	712.	16.39	45	1
267	95.	16.0	5.7	51.04	212.00	6.0	54.0	570.	11.17	32	1
268	100.	12.5	7.2	63.62	251.00	6.5	54.0	650.	10.22	32	1
269	100.	11.4	5.0	27.98	227.00	5.0	72.0	500.	17.87	41	0
270	100.	11.8	5.4	33.78	259.50	5.0	78.0	500.	14.83	41	0
271	80.	13.2	4.6	27.42	59.00	5.0	26.0	400.	14.59	61	1
272	75.	13.8	6.2	52.08	130.00	7.5	26.0	562.	10.80	61	1
273	90.	11.2	6.0	39.58	31.00	2.0	24.0	180.	4.55	70	0
274	90.	10.8	6.2	40.76	64.00	3.0	36.0	270.	6.62	70	0
275	130.	12.2	7.8	72.87	275.00	9.0	44.0	1170.	16.06	75	1
276	130.	15.0	6.4	60.32	386.00	7.0	82.0	910.	15.09	75	1
277	75.	14.0	6.8	63.55	36.00	3.0	18.0	225.	3.54	74	1
278	80.	14.6	7.2	74.30	73.00	4.5	26.0	360.	4.84	74	1
279	85.	17.0	5.0	41.72	48.00	3.5	24.0	297.	7.13	66	1
280	85.	14.0	5.4	40.08	53.00	3.5	24.0	297.	7.42	66	1
281	95.	17.0	7.2	86.52	123.50	5.5	32.0	522.	6.04	75	1
282	90.	18.0	6.9	84.13	78.50	4.5	26.0	405.	4.31	75	1
283	80.	12.5	5.5	37.12	37.00	3.0	20.0	240.	6.47	75	1
284	75.	13.2	4.6	27.42	44.00	3.0	26.0	225.	8.21	75	1
285	100.	12.4	6.2	46.80	311.00	6.0	84.0	600.	12.82	33	1
286	120.	11.7	5.9	39.98	305.00	5.0	84.0	600.	15.01	33	1
287	75.	9.6	5.0	23.56	382.50	8.5	72.0	637.	27.06	5	1
288	70.	9.4	4.6	19.53	244.00	7.0	50.0	490.	25.09	5	1
289	120.	12.0	6.4	48.25	351.50	4.5	98.0	540.	11.19	49	1
290	115.	11.8	6.3	45.98	222.50	5.0	60.0	575.	12.51	49	1
291	135.	11.0	8.7	81.74	443.50	9.0	72.0	1215.	14.86	24	1
292	140.	13.7	6.0	48.42	587.00	8.0	106.0	1120.	23.13	24	1
293	115.	12.7	9.1	103.25	442.50	7.5	80.0	862.	8.35	38	1
294	120.	12.2	9.2	101.38	366.00	7.5	70.0	900.	8.88	38	1
295	100.	15.5	7.2	78.39	377.00	11.5	52.0	1150.	14.58	27	1
296	120.	13.7	9.2	113.84	312.00	8.5	60.0	1020.	8.96	27	1
299	125.	12.8	6.9	59.83	422.50	8.0	78.0	1000.	16.71	41	1
300	140.	11.9	6.1	43.47	800.25	12.0	101.0	1680.	38.65	41	1
311	35.	7.0	3.0	6.19	90.00	4.0	42.0	140.	22.64	0	1
312	40.	7.3	2.4	4.13	85.80	4.0	44.0	160.	38.76	0	1
313	40.	6.8	3.2	6.84	105.90	5.0	36.0	200.	29.26	0	1
314	40.	6.7	3.4	7.60	94.60	4.2	36.0	168.	22.09	0	1
315	115.	15.0	7.8	89.59	1216.50	23.5	86.0	2702.	33.16	32	1
316	105.	15.5	7.5	85.60	621.50	15.0	62.0	1575.	13.40	32	1
318	70.	13.3	4.5	26.44	353.00	13.0	46.0	910.	34.42	27	1

NR.	A	X	Y	Z	EDEF	FMAX	FMIN	N	ST	ALT.	SE
319	70.	11.3	5.5	33.56	331.00	10.5	10.5	10.5	21.90	1	1
320	65.	11.0	5.0	24.54	231.00	6.5	6.5	6.5	11.1	1	1
321	60.	9.3	6.2	35.10	195.00	6.1	6.1	6.1	10.26	1	1
322	135.	12.3	6.7	50.10	570.00	10.5	10.5	10.5	17.55	1	1
323	130.	11.7	6.5	54.75	51.00	10.5	10.5	10.5	23.40	1	1
324	115.	11.2	7.5	50.38	671.00	10.5	10.5	10.5	23.54	1	0
325	115.	9.0	7.2	50.38	671.00	10.5	10.5	10.5	27.79	1	0
326	91.	10.0	7.5	34.93	215.00	10.5	10.5	10.5	13.35	0	0
327	95.	11.0	7.5	42.22	212.50	10.5	10.5	10.5	11.1	0	0
328	101.	14.0	7.3	25.41	137.50	10.5	10.5	10.5	13.77	0	0
329	100.	14.0	7.3	25.41	137.50	10.5	10.5	10.5	13.77	0	0
330	85.	6.0	7.5	3.33	44.50	10.5	10.5	10.5	15.58	0	0
331	85.	5.0	7.7	11.44	20.00	10.5	10.5	10.5	9.22	0	0
332	80.	13.5	7.5	33.87	220.00	10.5	10.5	10.5	21.33	0	0
333	80.	12.3	7.5	45.24	196.45	10.5	10.5	10.5	14.10	0	0
334	120.	14.0	7.5	31.87	330.50	10.5	10.5	10.5	15.47	0	0
335	91.	11.0	7.2	54.22	157.00	10.5	10.5	10.5	9.95	0	0
336	80.	13.0	7.5	42.93	240.00	10.5	10.5	10.5	18.63	0	0
337	80.	12.3	7.3	59.17	245.00	11.0	11.0	11.0	15.55	0	0
338	110.	15.6	7.5	83.87	375.00	11.0	11.0	11.0	15.08	1	1
339	115.	15.5	6.5	75.36	441.00	11.0	11.0	11.0	14.92	1	1
340	130.	14.9	7.0	71.68	713.50	11.0	11.0	11.0	19.04	1	1
341	100.	15.0	6.9	73.11	494.00	11.0	11.0	11.0	14.93	1	1
342	90.	15.3	7.1	72.16	444.00	11.0	11.0	11.0	19.95	1	1
343	100.	16.0	7.3	133.35	334.00	11.0	11.0	11.0	3.17	1	1
344	130.	9.5	7.0	49.71	55.00	11.0	11.0	11.0	27.92	0	0
345	101.	12.0	5.0	31.85	231.50	11.0	11.0	11.0	25.11	0	0
346	100.	14.6	8.5	173.56	389.00	11.0	11.0	11.0	11.10	1	1
347	100.	15.6	6.4	62.73	321.75	11.0	11.0	11.0	17.54	1	1
348	101.	13.7	7.3	81.83	352.00	11.0	11.0	11.0	15.99	1	1
349	95.	13.6	7.5	98.75	246.00	11.0	11.0	11.0	14.43	1	1
350	91.	13.7	8.5	97.15	341.50	11.0	11.0	11.0	14.82	1	1
351	95.	13.5	8.0	91.30	412.50	11.0	11.0	11.0	14.35	1	1
352	25.	6.1	2.0	3.12	69.00	11.0	11.0	11.0	21.26	1	1
353	30.	5.4	2.5	3.56	58.40	11.0	11.0	11.0	16.86	1	1
354	100.	12.2	5.0	7.00	353.50	11.0	11.0	11.0	14.73	1	1
355	85.	13.2	7.5	56.45	51.00	11.0	11.0	11.0	14.37	1	1
356	125.	15.0	7.5	72.50	723.50	11.0	11.0	11.0	14.37	1	1
357	130.	16.6	7.7	79.36	654.00	11.0	11.0	11.0	30.93	1	1
358	71.	6.2	7.5	9.74	69.50	11.0	11.0	11.0	16.43	1	1
359	70.	6.0	7.5	10.34	47.50	11.0	11.0	11.0	12.46	1	1
360	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
361	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
362	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
363	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
364	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
365	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
366	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
367	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
368	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
369	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
370	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
371	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
372	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
373	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
374	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
375	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
376	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
377	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
378	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
379	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
380	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
381	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
382	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
383	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
384	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
385	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
386	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
387	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
388	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
389	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
390	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
391	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
392	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
393	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
394	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
395	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
396	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
397	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
398	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
399	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0
400	115.	11.0	6.0	41.94	574.50	11.0	11.0	11.0	22.29	0	0

Zu den Versuchsergebnissen der Menschenrippen

Um über 305 menschliche Rippen eine Aussage machen zu können, mußten 400 Rippen entnommen werden. Nur 76,25 % der entnommenen Rippen waren für die Versuchsreihe geeignet, 3,75 % = 15 Rippen brachen unglaublich früh oder vorzeitig und 20 % = 80 Rippen ließen sich mehrfach maximal belasten, brachen jedoch nicht. Weiterhin benötigten wir über 40 Rippen für Vorversuche bis zur sinnvollen Konstruktion der Belastungseinrichtung.

Um nach Möglichkeit zu normalen Durchschnittswerten der einzelnen Altersklassen zu gelangen, wurden keine Rippen von Personen mit Knochenerkrankungen entnommen. Die unglaublich früh gebrochenen Rippen stammten fast ausnahmslos von aktenkundig gewordenen Alkoholikern.

Die Zusammenstellung der Endergebnisse sämtlicher in die Versuchsreihe eingegangenen Rippen zeigt, daß menschliche Rippen im Durchschnitt (arithmetischer Mittelwert) einen Hebelarm von 93,0 mm, eine Breite von 13,1 mm und eine Dicke von 6,2 mm aufweisen. Das Widerstandsmoment ist, bei Annahme eines elliptischen Rippenquerschnittes, durchschnittlich $53,54 \text{ mm}^3$. Die aufgenommene Deformationsenergie liegt bei 275,22 kp mm, die maximale Verformungskraft bei 7,6 kp und der maximale Verformungsweg bei 51,1 mm. Das mittlere Biegemoment beträgt 734,0 mm kp, die Bruchbiegespannung $15,16 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichung, das Maß für die Abweichung der Einzelwerte vom arithmetischen Mittelwert, beträgt für den Hebelarm 20,0 mm, für die Rippenbreite 2,6 mm, für die Rippendicke 1,5 mm, für das Widerstandsmoment $31,41 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 246,31 kp mm, für die maximale Verformungskraft 4,2 kp, für den maximalen

- - -

Verformungsweg 21,4 mm, für das Biegemoment 436 mm kp
und für die Bruchbiegespannung 8,12 kp/mm².

Der Variationskoeffizient gestattet einen augenfälligeren Vergleich. Er wird aus dem arithmetischen Mittelwert und der Standardabweichung berechnet und ist von der Einheit der beobachteten Größe unabhängig. Er beträgt für den Hebelarm der menschlichen Rippen 21,7 %, die Breite 19,8 %, die Dicke 24,6 %, das Widerstandsmoment 58,7 %, die Deformationsenergie 83,5 %, die maximale Verformungskraft 55,6 %, den maximalen Verformungsweg 41,9 %, das Biegemoment 65,3 % und die Bruchbiegespannung 53,5 %. Zieht man dabei noch in Betracht, daß sich 20 % aller Rippen, vornehmlich die der jungen Altersgruppen, maximal belasten, jedoch nicht brechen lassen, müssen wesentlich höhere Festigkeitswerte angenommen werden.

ALTERSBEREICH VON 0 BIS 0 JAHRE SCHWEINE
BEIDE GESCHLECHTER

NR.	A	X	1	W	EDER	FM-K	S4AX	M	SIGMA	
92	100.	12.7	4.4	87.98	1340.00	22.0	90.0	2270.	25.31	
93	100.	13.6	6.5	56.41	1364.50	20.0	90.0	2000.	35.45	
97	90.	12.0	7.3	62.78	1122.50	30.0	58.0	2700.	43.01	
98	95.	13.2	7.1	63.50	950.00	15.1	52.7	2660.	41.39	
99	100.	13.4	5.1	56.31	1506.50	27.5	73.0	2750.	31.40	
100	92.	14.0	7.2	85.78	831.50	20.0	60.0	1870.	20.98	
115	65.	16.7	4.9	39.36	438.50	13.0	66.0	650.	16.51	
116	75.	13.3	7.2	67.69	970.00	23.0	80.0	1725.	25.48	
117	55.	18.1	4.2	31.35	259.00	3.1	20.3	457.	14.91	
118	75.	14.1	6.1	93.82	454.00	10.0	42.0	1037.	11.97	
119	105.	12.5	7.4	67.20	1033.00	11.5	82.0	1940.	23.91	
120	100.	14.1	5.1	92.82	932.00	13.5	71.0	1650.	20.37	
121	95.	14.5	3.1	93.40	1275.00	21.0	82.0	1995.	21.36	
122	85.	12.3	7.8	73.47	929.00	13.0	66.0	1530.	22.83	
123	110.	12.8	4.8	97.31	1129.00	21.0	82.0	2310.	23.74	
124	105.	13.2	9.8	124.46	782.00	16.5	66.0	1732.	13.92	
134	65.	15.4	5.2	37.83	2213.50	52.0	100.0	3380.	49.42	
135	85.	9.6	8.8	72.99	394.00	9.5	66.0	807.	11.06	
136	40.	20.0	4.6	41.55	214.00	3.1	40.0	320.	7.70	
138	80.	23.7	3.1	22.36	655.50	16.0	70.0	1230.	57.25	
140	80.	24.9	3.7	33.47	440.50	11.5	56.0	920.	27.49	
141	105.	12.3	3.7	91.40	872.00	17.0	78.0	1785.	19.53	
190	45.	17.7	10.0	173.77	270.00	13.0	32.0	535.	3.37	
191	57.	15.0	10.0	156.23	269.00	10.5	30.0	625.	4.00	
192	45.	23.7	5.0	58.17	171.50	7.5	36.0	337.	5.80	
193	65.	18.6	7.0	97.31	286.50	11.0	68.0	715.	7.35	
301	50.	23.2	6.0	91.70	195.50	13.5	36.0	577.	0.30	
302	75.	13.2	3.0	53.08	391.50	9.5	62.0	332.	6.26	
303	65.	18.7	4.2	123.44	640.00	13.2	73.0	1105.	8.95	
304	45.	14.4	7.0	81.66	399.00	13.0	66.0	850.	10.41	
305	65.	12.3	9.0	106.70	543.00	21.0	36.0	1365.	12.79	
306	60.	19.1	5.0	65.27	341.50	10.5	36.0	1050.	16.09	
307	75.	19.6	3.0	149.01	443.00	20.5	43.0	1537.	10.32	
308	65.	14.0	3.0	56.30	356.50	19.0	30.0	1267.	22.51	
309	65.	19.1	3.0	67.50	449.00	12.0	46.0	780.	11.05	
313	70.	17.5	5.0	61.85	706.00	15.5	64.0	1085.	17.54	
	100.	15.8	1.0	79.45	710.50	17.3	60.5	1392.	20.89	$\bar{x}$
	21.	3.7	1.8	34.69	455.60	8.3	19.4	779.	16.80	s
	0.26	0.235	3.250	0.437	3.861	0.483	0.321	3.560	1.000	v

Zu den Versuchsergebnissen der Schweinerippen

Um über 36 Schweinerippen zu einer Aussage zu gelangen, mußten 40 Rippen entnommen werden. 10,00 % ließen sich maximal belasten, brachen jedoch nicht.

Der arithmetische Mittelwert des Hebelarms liegt bei 77 mm, der der Breite bei 15,8 mm, der Dicke bei 7,2 mm. Das Widerstandsmoment beträgt $79,45 \text{ mm}^3$, die aufgenommene Deformationsenergie 710,50 kp mm, die maximale Verformungskraft 17,3 kp, der maximale Verformungsweg 60,5 mm, das Biegemoment 1392,0 mm kp und die Bruchbiegespannung $20,89 \text{ kp/mm}^2$. Die Standardabweichungen bemessen sich für den Hebelarm auf 21 mm, für die Rippenbreite auf 3,7 mm, für die Rippendicke auf 1,8 mm, für das Widerstandsmoment auf $34,69 \text{ mm}^3$, für die Deformationsenergie auf 455,65 kp mm, für die maximale Verformungskraft auf 8,3 kp, für den maximalen Verformungsweg auf 19,4 mm, für das Biegemoment auf 779 kp mm und für die Bruchbiegespannung auf $16,80 \text{ kp/mm}^2$. Entsprechend liegt der Variationskoeffizient des Hebelarms bei 26,9 %, der Rippenbreite bei 23,5 %, der Rippendicke bei 25 %, des Widerstandsmomentes bei 43,7 %, der aufgenommenen Deformationsenergie bei 64,1 %, der maximalen Verformungskraft bei 48 %, des maximalen Verformungsweges bei 32,1 %, des Biegemomentes bei 56 % und der Bruchbiegespannung bei 80,4 %.

ALTERSBEREICH VON 0 BIS 1 JAHRE
BEIDE GESCHLECHTER

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALT.	SEX
311	35.	7.0	3.0	6.19	90.00	4.0	42.0	140.	22.64	0	1
312	40.	7.3	2.4	4.13	85.80	4.0	44.0	160.	38.76	0	1
313	40.	6.8	3.2	6.84	105.90	5.0	36.0	200.	29.26	0	0
314	40.	6.7	3.4	7.60	94.60	4.2	36.0	168.	22.09	0	0
330	40.	6.0	3.2	6.03	43.50	2.5	32.0	100.	16.58	0	0
331	40.	5.0	4.7	10.84	20.00	2.5	18.0	100.	9.22	0	0
352	25.	6.0	2.3	3.12	69.00	2.5	42.0	62.	20.06	0	1
353	30.	5.8	2.5	3.56	58.40	2.0	44.0	60.	16.86	0	1
358	40.	6.2	4.0	9.74	69.50	4.0	28.0	160.	16.43	0	1
359	45.	6.9	4.0	10.84	47.50	3.0	30.0	135.	12.46	0	1
10	37.	6.4	3.3	6.89	68.42	3.4	35.2	129.	20.43		$\bar{x}$
	6.	0.7	0.8	2.87	26.59	1.0	8.4	47.	8.53		s
	0.157	0.109	0.239	0.416	0.389	0.294	0.238	0.362	0.417		v

Zu den Versuchsergebnissen der Säuglinge

0 - 1 Jahr beide Geschlechter

	a	b	c	n
männl.	14	8	-	6
weibl.	7	3	-	4
männl. + weibl.	21	11	-	10

a = Anzahl der entnommenen Rippen jeder Altersklasse

b = Anzahl der unter den Versuchsbedingungen maximal belastbaren, nicht gebrochenen Rippen

c = Anzahl der beim Einlegen in die Versuchseinrichtung bereits gebrochenen Rippen

n = Anzahl der verwertbaren Einzelversuche jeder Altersklasse

Um über die Rippen von Säuglingen bis zu einem Jahr eine Aussage machen zu können, mußten 21 entnommen werden. In dieser Altersgruppe brachen nur 47,62 %. Mehr als die Hälfte ließen sich maximal belasten, brachen jedoch nicht. Das entspricht 13,75 % aller maximal belastbaren, nicht gebrochenen Rippen der Untersuchungen.

Der arithmetische Mittelwert des Hebelarmes beträgt 37 mm, der der Rippenbreite 6,4 mm, der der Rippendicke 4,3 mm, der des Widerstandsmomentes $6,89 \text{ mm}^3$, der der aufgenommenen Deformationsenergie 68,42 kp mm, der der maximalen Verformungskraft 3,4 kp, der des maximalen Verformungsweges 15,2 mm, der des Biegemomentes 129,0 mm kp und der der Bruchbiegespannung $20,43 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 6 mm, für die Rippenbreite bei 0,7 mm, für die Rippendicke bei 0,8 mm, für das Widerstandsmoment bei $2,87 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 26,59 kp mm, für die maximale Verformungskraft bei 1,0 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 8,4 mm, für das Biegemoment bei 47 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $8,53 \text{ kp/mm}^2$.

So ergeben sich für den Variationskoeffizienten des Hebelarmes 15,7 %, für die Rippenbreite 10,9 %, für den der Rippendicke 23,9 %, für den des Widerstandsmomentes 41,6 %, für den der aufgenommenen Deformationsenergie 38,9 %, für den der maximalen Verformungskraft 29,4 %, für den des maximalen Verformungsweges 23,8 %, für den des Biegemomentes 36,2 % und für den der Bruchbiegespannung 41,7 %.

ALTERSBEREICH VON 0 BIS 10 JAHRE
BEIDE GESCHLECHTER

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALT.	SE
44	80.	10.7	6.1	39.09	535.00	9.5	90.0	760.	19.44	9	1
45	85.	9.6	6.2	36.23	856.50	13.0	102.0	1105.	30.50	9	1
51	82.	10.4	4.2	18.01	260.00	6.5	68.0	533.	29.59	8	0
83	75.	8.3	4.3	15.07	346.00	9.0	64.0	675.	44.30	2	1
84	72.	7.7	5.2	20.44	238.60	6.0	62.0	432.	21.13	2	1
287	75.	9.6	5.0	23.56	382.50	8.5	72.0	637.	27.06	5	1
288	70.	9.4	4.6	19.53	244.00	7.0	50.0	490.	25.09	5	1
311	35.	7.0	3.0	6.19	90.00	4.0	42.0	147.	22.64	0	1
312	40.	7.3	2.4	4.13	85.80	4.0	44.0	160.	38.76	0	1
313	40.	6.8	3.2	6.84	105.90	5.0	36.0	200.	29.26	0	0
314	40.	6.7	3.4	7.60	94.60	4.2	36.0	163.	22.09	0	0
320	60.	10.0	5.0	24.54	201.00	6.5	50.0	390.	15.89	6	1
321	60.	9.3	6.2	35.10	195.00	6.0	48.0	360.	10.26	6	1
330	40.	6.0	3.2	6.03	43.50	2.5	32.0	100.	16.58	0	0
331	40.	5.0	4.7	10.84	20.00	2.5	18.0	100.	9.22	0	0
352	25.	6.0	2.3	3.12	69.00	2.5	42.0	62.	20.06	0	1
353	30.	5.8	2.5	3.56	58.40	2.0	44.0	60.	16.86	0	1
358	40.	6.2	4.0	9.74	69.50	4.0	28.0	160.	16.43	0	1
359	45.	6.9	4.0	10.84	47.50	3.0	30.0	135.	12.46	0	1
19	54.	7.3	4.2	15.81	207.52	5.6	50.4	351.	22.53	$\bar{x}$	
	20.	1.8	1.3	11.49	208.61	2.9	21.4	288.	9.25	s	
	0.362	0.226	0.299	0.727	1.005	0.523	0.425	0.822	0.411	v	

Zu den Versuchsergebnissen der Rippenfestigkeit
der 0 - 10 Jährigen

	a	b	c	n
männl.	29	15	-	14
weibl.	13	8	-	5
männl. + weibl.	42	23	-	19

(Abkürzungen s. S. 34)

Um über 19 Rippen von Kindern eine Aussage machen zu können, mußten 42 Rippen entnommen werden. Nur 45,24 % ließen sich bis zum Bruch belasten. Die in dieser Altersgruppe maximal belastbaren, jedoch nicht gebrochenen Rippen machen 28,75 % aller nicht gebrochenen Rippen aus. Entsprechend auffällig schwankt der Variationskoeffizient. Er beträgt für den Hebelarm 36,2 %, für die Rippenbreite 22,6 %, für die Rippendicke 29,9 %, für das Widerstandsmoment 72,7 %, für die aufgenommene Deformationsenergie sogar 100,5 %, für die maximale Verformungskraft 52,3 %, für den maximalen Verformungsweg 42,5 %, für das Biegemoment 82,2 % und für die Bruchbiegespannung 41,1 %.

ALTERSBEREICH VON 0 BIS 1 JAHRE
MAENNLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALT.	SEX
311	35.	7.0	3.0	6.19	90.00	4.0	42.0	140.	22.64	0	1
312	40.	7.3	2.4	4.13	85.80	4.0	44.0	160.	38.76	0	1
352	25.	6.0	2.3	3.12	69.00	2.5	42.0	62.	20.06	0	1
353	30.	5.8	2.5	3.56	58.40	2.0	44.0	60.	16.86	0	1
358	40.	6.2	4.0	9.74	69.50	4.0	28.0	160.	16.43	0	1
359	45.	6.9	4.0	10.84	47.50	3.0	30.0	135.	12.46	0	1
6	36.	6.5	3.0	6.26	70.73	3.2	34.3	120.	21.20	-	X
	7.	0.6	0.8	3.31	16.07	0.9	7.3	46.	9.27		S
	0.205	0.094	0.259	0.529	0.230	0.271	0.191	0.387	0.437		V

Zu den Versuchsergebnissen 0 - 1 Jahr männlich

Sechs von 14 entnommenen Rippen konnten in diese Altersklasse aufgenommen werden. Es ergeben sich als arithmetische Mittelwerte für den Hebelarm 36,0 mm, für die Rippenbreite 6,5 mm, für die Rippendicke 3,0 mm, für das Widerstandsmoment $6,26 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 70,03 mm kp, für die maximale Verformungskraft 3,2 kp, für den maximalen Verformungsweg 38,3 mm, für das Biegemoment 120,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $21,20 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen betragen für den Hebelarm 7 mm, für die Rippenbreite 0,6 mm, für die Rippendicke 0,8 mm, für das Widerstandsmoment $3,31 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 16,07 mm kp, für die maximale Verformungskraft 0,9 kp, für den maximalen Verformungsweg 7,3 mm, für das Biegemoment 46 mm kp und für die Bruchbiegespannung $9,27 \text{ kp/mm}^2$.

Entsprechend liegt der Variationskoeffizient für den Hebelarm bei 20,5 %, die Rippenbreite bei 9,4 %, die Rippendicke bei 25,9 %, das Widerstandsmoment bei 52,9 %, die aufgenommene Deformationsenergie bei 23 %, die maximale Verformungskraft bei 27,1 %, den maximalen Verformungsweg bei 19,1 %, das Biegemoment bei 38,7 % und die Bruchbiegespannung bei 43,7 %.

ALFRED REICH VON 1 BIS 10 JAHRE
 1911/12

...	...	...	...	...	EDER	...	...	...	SIGMA	ALT.	SE
10	8.3.	10.7	5.1	39.09	535.17	9.5	97.0	7.07.	19.04	9	1
15	8.5.	10.7	5.1	36.23	456.54	13.0	142.0	11.55.	30.56	9	1
20	7.5.	8.3	5.2	15.07	346.70	7.1	64.0	7.0.	...	2	1
25	7.0.	7.1	5.2	...	238.64	6.0	...	...	11.14	2	1
30	6.5.	7.0	5.1	23.56	342.50	8.5	72.0	...	27.06	5	1
35	7.1.	7.0	5.0	19.53	244.30	7.3	50.0	...	25.09	5	1
40	6.3.	10.7	5.1	24.54	201.77	6.3	50.0	...	10.7	6	1
45	6.3.	7.3	6.2	35.10	195.03	6.0	48.0	...	10.26	6	1
...	7.2.	9.3	5.3	26.69	371.55	8.2	67.2	...	24.27	$\bar{x}$	
...	7.1.	9.9	5.7	...	278.7	7.1	19.8	...	10.48	s	
...	1.12	0.131	0.141	0.334	...	0.232	0.295	...	0.432	v	

Zu den Versuchsergebnissen von 1 - 10 Jahre männlich

Acht von 15 entnommenen Rippen dieser Altersklasse konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 72,0 mm, für die Rippenbreite 9,3 mm, für die Rippendicke 5,3 mm, für das Widerstandsmoment 26,69 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie 374,83 mm kp, für die maximale Verformungskraft 8,2 kp, für den maximalen Verformungsweg 67,2 mm, für das Biegemoment 606,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung 24,27 kp/mm².

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 9 mm, für die Rippenbreite bei 0,9 mm, für die Rippendicke bei 0,7 mm, für das Widerstandsmoment bei 8,91 mm³, die aufgenommene Deformationsenergie bei 225,76 mm kp, die maximale Verformungskraft bei 2,4 kp, den maximalen Verformungsweg bei 19,8 mm, das Biegemoment bei 248 mm kp und die Bruchbiegespannung bei 10,48 kp/mm².

Entsprechend resultiert ein Variationskoeffizient für den Hebelarm von 12,2 %, die Rippenbreite von 10,1 %, die Rippendicke von 14,1 %, das Widerstandsmoment von 33,4 %, die aufgenommene Deformationsenergie von 60,2 %, die maximale Verformungskraft von 29 %, den maximalen Verformungsweg von 29,5 %, das Biegemoment von 40,9 % und die Bruchbiegespannung von 43,2 %.

ALTERSBEREICH VON 0 BIS 10 JAHRE
MAENNLICH

NR.	A	K	Y	.	EDEF	FMAX	SMAX	M	SICMA	AL4.	SEK
44	89.	10.7	6.1	39.09	535.00	9.5	90.0	760.	19.44	1	1
45	95.	9.6	6.2	36.23	856.50	13.0	102.0	1100.	30.50	1	1
83	75.	8.3	4.3	15.07	346.00	9.0	64.0	675.	44.80	1	1
84	72.	7.7	5.2	20.44	238.60	6.0	62.0	430.	21.13	1	1
287	75.	9.6	5.0	23.56	382.50	8.5	72.0	637.	27.06	1	1
288	70.	9.4	4.6	19.53	244.00	7.0	50.0	490.	25.09	1	1
311	35.	7.0	3.0	6.19	90.00	4.0	42.0	140.	22.64	1	1
312	40.	7.3	2.4	4.13	85.80	4.0	44.0	160.	38.76	1	1
320	60.	10.0	5.0	24.54	201.00	6.5	50.0	390.	15.89	1	1
321	60.	9.3	6.2	35.10	195.00	6.0	48.0	360.	10.26	1	1
352	25.	6.0	2.3	3.12	69.00	2.5	42.0	62.	20.06	1	1
353	30.	5.8	2.5	3.56	58.40	2.0	44.0	60.	16.86	1	1
358	40.	6.0	4.0	9.74	69.50	0.0	28.0	160.	16.43	1	1
359	45.	6.0	4.0	10.84	47.50	3.0	30.0	135.	12.46	1	1
14	57.	8.1	4.3	17.94	244.20	6.1	54.0	398.	22.96	X	
	20.	1.6	1.4	12.53	228.13	3.1	21.3	310.	9.73	S	
0.358	0.201	0.320	0.699	0.934	1.515	0.338	0.730	0.424	V		

Zu den Versuchsergebnissen 0 - 10 Jahre männlich

14 von 29 entnommenen Rippen dieser Altersgruppe konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden.

Der arithmetische Mittelwert für den Hebelarm beträgt 57,0 mm, für die Rippenbreite 8,1 mm, für die Rippendicke 4,3 mm, für das Widerstandsmoment $17,94 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 244,20 mm kp, für die maximale Verformungskraft 6,1 kp, für den maximalen Verformungsweg 54,9 mm, für das Biegemoment 398,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $22,96 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 20,0 mm, für die Rippenbreite bei 1,6 mm, für die Rippendicke bei 1,4 mm, für das Widerstandsmoment bei $12,53 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 228,13 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 3,1 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 21,3 mm, für das Biegemoment bei 310,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $9,73 \text{ kp/mm}^2$.

Daraus ergibt sich ein Variationskoeffizient für den Hebelarm von 35,8 %, für die Rippenbreite von 20,1 %, für die Rippendicke von 32 %, für das Widerstandsmoment von 69,9 %, für die aufgenommene Deformationsenergie von 93,4 %, für die maximale Verformungskraft von 51,5 %, für den maximalen Verformungsweg von 38,8 %, für das Biegemoment von 78,0 % und für die Bruchbiegespannung von 42,4 %.

ALTERSBEREICH VON 11 12 13 14 15
GEMEINLICH

[illegible]

Zu den Versuchsergebnissen 11 - 20 Jahre männlich

Nur eine von zehn entnommenen Rippen dieser Altersgruppe läßt sich bis zum Bruch belasten.

Sie ergibt einen Hebelarm von 100 mm, eine Breite von 15,0 mm, eine Dicke von 3,8 mm, ein Widerstandsmoment von $114,04 \text{ mm}^3$, eine aufgenommene Deformationsenergie von 1169,0 mm kp, eine maximale Verformungskraft von 16,5 kp, einen maximalen Verformungsweg von 102,0 mm, ein Biegemoment von 1650,0 mm kp und eine Bruchbiegespannung von $14,47 \text{ kp/mm}^2$.

Die Angaben über die Standardabweichungen und den Variationskoeffizienten können nicht erfolgen, weil sich die anderen Rippen mehrfach maximal belasten ließen, jedoch nicht brachen. Die Werte der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten sind jedoch nicht Null, wie vom Digitalrechner ausgedruckt, sondern gehen gegen unendlich. Die aufgenommene Deformationsenergie liegt sicher in der Größenordnung der am höchsten belastbaren gebrochenen Rippen oder höher. Deren arithmetischer Mittelwert liegt bei 1476 mm kp.

ALTERSBEREICH VON 21 BIS 30 JAHRE
TABELLE 1

W. F.	A	X	T	DEF	MAX	MAX	SIGMA	ST.	ST.
1	115.	11.4	7.5	62.95	765.50	16.5	38.3	1497.	1
13	105.	13.7	2.5	56.83	460.00	14.5	58.0	1522.	1
14	93.	12.6	6.4	50.67	349.50	11.5	46.0	1035.	1
25	100.	18.5	11.2	188.96	147.30	32.5	94.0	3250.	1
62	112.	16.0	6.4	64.34	1134.50	20.0	84.0	2240.	1
63	115.	17.2	3.3	56.89	675.50	1.0	70.0	1340.	1
73	110.	12.5	9.1	99.40	884.50	16.5	72.0	131.	1
74	104.	14.1	7.0	67.83	1133.00	16.5	92.0	1650.	1
103	130.	13.0	5.5	40.02	524.00	5.0	126.0	1040.	1
134	120.	12.0	3.0	31.36	402.00	3.5	66.0	1020.	1
142	110.	17.7	7.0	85.15	370.00	1.0	62.0	1100.	1
143	115.	1.1	3.0	82.17	224.10	7.5	42.0	862.	1
291	135.	11.0	8.7	81.74	443.50	9.0	72.0	1215.	1
292	140.	13.7	6.0	48.42	587.00	3.0	106.0	1120.	1
295	100.	15.5	7.2	78.89	377.00	11.5	52.0	1150.	1
296	120.	13.7	9.2	113.84	312.00	6.5	60.0	1120.	1
318	70.	13.3	4.5	26.44	353.00	13.0	46.0	910.	1
319	70.	11.3	3.5	33.56	331.00	10.5	46.0	700.	1
322	105.	12.8	6.7	56.41	590.00	0.5	84.0	997.	1
323	130.	13.2	6.5	54.75	912.00	10.0	102.0	1560.	1
340	130.	14.9	7.0	71.68	718.50	10.5	102.0	1360.	1
341	100.	15.3	6.2	70.11	494.00	19.5	84.0	1050.	1
346	100.	14.6	3.5	103.56	339.10	11.5	58.0	1150.	1
347	100.	15.6	6.4	62.73	321.10	11.5	46.0	1100.	1
350	90.	13.7	3.5	97.18	340.50	10.0	38.0	1440.	1
351	95.	13.5	3.3	91.30	412.50	13.5	48.0	1232.	1
356	125.	15.0	7.0	30.59	723.50	16.0	94.0	1000.	1
357	130.	16.6	7.0	79.86	658.00	10.0	80.0	1070.	1
38	109.	14.3	1.1	73.11	608.29	13.1	70.6	1423.	X
	18.	2.0	1.3	31.85	387.47	5.0	11.0	564.	S
	1.143	1.143	1.1	0.436	0.637	0.000	0.303	7.306	V

Zu den Versuchsergebnissen 21 - 30 Jahre männlich

28 v n 42 Rippen ließen sich bis zum Bruch belasten.

In dieser Altersgruppe liegen die arithmetischen Mittelwerte für den Hebelarm bei 109,0 mm, für die Rippenbreite bei 14,3 mm, für die Rippendicke bei 7,1 mm, für das Widerstandsmoment bei $73,11 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 608,29 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 13,1 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 70,6 mm, für das Biegemoment bei 1423,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $21,23 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen betragen für den Hebelarm 18,0 mm, für die Rippenbreite 2,0 mm, für die Rippendicke 1,3 mm, für das Widerstandsmoment $31,85 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 387,47 mm kp, für die maximale Verformungskraft 5,2 kp, für den maximalen Verformungsweg 21,4 mm, für das Biegemoment 564,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $7,71 \text{ kp/mm}^2$.

Als Variationskoeffizient ergibt sich für den Hebelarm 16,2 %, für die Rippenbreite 14,3 %, für die Rippendicke 18,6 %, für das Widerstandsmoment 43,6 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 63,7 %, für die maximale Verformungskraft 39,3 %, für den maximalen Verformungsweg 30,3 %, für das Biegemoment 39,6 % und für die Bruchbiegespannung 36,3 %.

ALTERSBEREICH VON 31 BIS 40 JAHRE
MÄNNLICH

NR.	A	X	Y	W	LOG	MAX	MIN	SIGMA	ALT.	SEX	
18	105.	17.2	9.6	155.62	335.00	11.0	41.0	17.0	12.53	36	1
32	75.	14.3	4.4	26.61	84.00	7.0	24.0	525.	19.73	39	1
46	75.	11.7	7.2	59.55	61.60	4.0	23.0	300.	5.04	30	1
53	122.	17.0	4.4	147.47	366.00	13.0	44.0	15.00	10.75	36	1
71	140.	12.0	5.5	54.48	659.50	11.5	82.0	1.00	26.93	33	1
72	80.	12.5	7.3	63.13	471.50	13.0	52.0	1740.	17.30	38	1
107	115.	11.2	6.2	42.27	490.50	11.0	62.0	1265.	29.93	32	1
108	115.	11.2	4.0	70.37	672.00	12.0	94.0	1339.	19.61	32	1
267	95.	16.0	5.7	51.04	212.00	6.0	54.0	570.	11.17	30	1
268	103.	12.5	7.2	63.62	251.00	6.0	54.0	650.	10.22	30	1
293	115.	12.7	9.1	103.25	442.50	7.0	83.0	362.	3.35	38	1
294	120.	12.2	9.2	101.38	366.00	7.0	70.0	900.	8.88	33	1
315	115.	15.0	7.8	89.59	1216.50	23.5	86.0	2702.	30.16	32	1
316	115.	15.5	7.5	85.60	621.50	15.0	62.0	1570.	18.40	32	1
338	110.	15.6	7.4	83.87	375.00	11.5	64.0	1265.	15.03	35	1
339	105.	15.5	6.8	70.36	481.00	10.0	82.0	1050.	14.92	35	1
342	90.	15.0	7.0	72.16	444.00	16.0	46.0	1440.	19.96	35	1
343	104.	16.0	9.3	135.86	360.00	11.0	56.0	1100.	8.10	35	1
348	100.	13.7	7.8	81.83	382.00	13.0	44.0	1300.	15.89	39	1
349	95.	13.6	8.6	98.75	286.00	15.0	32.0	1425.	14.43	39	1
20	104.	14.0	7.6	82.69	431.88	11.5	57.8	1204.	15.78	$\bar{x}$	
	16.	1.9	1.3	33.90	246.04	4.5	20.0	525.	7.15	S	
	0.157	0.138	0.177	0.410	0.570	0.392	0.346	0.436	0.453	V	

Zu den Versuchsergebnissen 31 - 40 Jahre männlich

20 von 28 entnommenen Rippen ließen sich bis zum Bruch belasten. Eine Rippe brach unglaublich früh und wurde deshalb nicht in die Versuchsreihe aufgenommen.

Die arithmetischen Mittelwerte dieser Altersgruppe liegen für den Hebelarm bei 104,0 mm, für die Rippenbreite bei 14,0 mm, für die Rippendicke bei 7,6 mm, für das Widerstandsmoment bei $82,69 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 431,88 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 11,5 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 57,8 mm, für das Biegemoment bei 1204,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $15,78 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen betragen für den Hebelarm 16,0 mm, für die Rippenbreite 1,9 mm, für die Rippendicke 1,3 mm, für das Widerstandsmoment $33,90 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 246,04 mm kp, für die maximale Verformungskraft 4,5 kp, für den maximalen Verformungsweg 20,0 mm, für das Biegemoment 525,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $7,15 \text{ kp/mm}^2$.

Es ergibt sich ein Variationskoeffizient von 15,7 % für den Hebelarm, von 13,8 % für die Rippenbreite, von 17,7 % für die Rippendicke, von 41,0 % für das Widerstandsmoment, von 57,0 % für die aufgenommene Deformationsenergie, von 39,2 % für die maximale Verformungskraft, von 34,6 % für den maximalen Verformungsweg, von 43,6 % für das Biegemoment und von 45,3 % für die Bruchbiegespannung.

ALTERSBEREICH VON 41 BIS 50 JAHRE
MÄNNLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALT.	SE
3	125.	10.0	8.1	64.41	854.50	14.0	81.0	1750.	27.17	47	1
22	110.	14.1	5.6	43.41	252.50	10.0	38.0	1100.	25.34	48	1
34	75.	15.4	5.2	40.88	97.50	5.0	32.0	375.	9.17	48	1
42	60.	11.3	5.0	27.73	64.00	3.5	30.0	210.	7.57	47	1
50	89.	16.0	5.5	47.52	678.00	13.5	68.0	1201.	25.29	42	1
54	100.	12.5	5.5	37.12	632.00	12.5	70.0	1250.	33.67	45	1
55	105.	13.2	6.2	49.81	576.50	17.5	68.0	1837.	36.89	45	1
144	95.	14.6	5.3	40.26	245.00	6.0	62.0	570.	14.16	43	1
145	105.	15.2	6.0	53.72	240.00	6.0	56.0	630.	11.73	43	1
180	105.	11.4	5.0	27.98	318.50	10.0	62.0	1050.	37.53	44	1
181	80.	13.6	5.1	34.73	286.50	7.0	62.0	560.	16.13	44	1
257	105.	13.7	6.4	55.09	369.50	7.5	62.0	787.	14.29	44	1
258	100.	16.0	6.7	70.51	253.50	7.5	46.0	750.	10.60	44	1
354	100.	12.2	6.3	47.54	353.50	7.0	72.0	700.	14.73	42	1
355	85.	13.2	6.6	56.45	331.50	8.5	60.0	722.	12.80	42	1
15	96.	13.5	5.9	46.48	370.53	9.0	57.8	900.	19.81	$\bar{x}$	
16.	1.8	0.8	12.36	220.38	3.9	15.0	465.	10.27	s		
0.167	0.133	0.143	0.266	0.595	0.427	0.259	0.517	0.518	v		

Zu den Versuchsergebnissen 41 - 50 Jahre männlich

15 von 20 entnommenen Rippen dieser Altersklasse konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden. Vier Rippen ließen sich maximal belasten. Eine brach unglaublich früh.

Die arithmetischen Mittelwerte liegen für den Hebelarm bei 96,0 mm, für die Rippenbreite bei 13,5 mm, für die Rippendicke bei 5,9 mm, für das Widerstandsmoment bei 46,48 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 370,53 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 9,0 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 57,8 mm, für das Biegemoment bei 900,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei 19,81 kp/mm².

Die Standardabweichungen betragen für den Hebelarm 16,0 mm, für die Rippenbreite 1,8 mm, für die Rippendicke 0,8 mm, für das Widerstandsmoment 12,36 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie 220,38 mm kp, für die maximale Verformungskraft 3,9 kp, für den maximalen Verformungsweg 15,0 mm, für das Biegemoment 465,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung 10,27 kp/mm².

Es ergeben sich folgende Variationskoeffizienten: für den Hebelarm 16,7 %, für die Rippenbreite 13,3 %, für die Rippendicke 14,3 %, für das Widerstandsmoment 26,6 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 59,5 %, für die maximale Verformungskraft 42,7 %, für den maximalen Verformungsweg 25,9 %, für das Biegemoment 51,7 % und für die Bruchbiegespannung 51,8 %.

ALTEMSBEREICH VON 51 BIS 60 JAHRE
MAENNICH

vr.	A	X	Y	W	EDER	FMAX	SMAK		SIGMA	ALT.	SEX
7	110.	18.7	8.3	142.17	270.00	11.5	36.0	127.5	9.67	53	1
8	110.	15.0	7.5	82.83	104.50	9.5	22.0	1045.	12.62	53	1
12	105.	11.7	6.0	41.35	231.00	11.5	38.0	1207.	29.20	57	1
17	85.	17.8	5.5	52.86	274.30	11.5	49.4	850.	16.08	57	1
19	75.	15.5	6.7	68.31	200.75	11.5	31.0	787.	11.53	57	1
23	95.	13.7	5.5	40.69	132.00	11.5	27.0	75.	18.68	54	1
25	100.	15.9	6.2	60.90	192.50	7.5	52.0	750.	12.50	56	1
27	80.	13.7	7.8	81.83	437.50	12.5	50.0	1000.	12.22	60	1
41	62.	15.0	5.2	39.82	164.50	7.5	50.0	465.	11.64	56	1
43	67.	14.0	6.1	49.48	209.50	10.5	38.0	670.	13.54	56	1
47	100.	13.0	7.2	66.16	604.50	15.5	66.0	1500.	22.67	54	1
49	55.	14.4	7.1	71.27	72.50	7.5	20.0	412.	5.79	55	1
64	105.	17.3	7.2	84.05	295.00	10.5	40.0	1102.	12.52	57	1
65	120.	15.8	9.1	125.64	341.75	9.5	55.0	1140.	9.07	57	1
81	85.	15.9	7.9	91.91	404.75	16.5	44.0	1360.	14.80	52	1
82	90.	14.8	7.6	83.92	529.90	15.5	52.0	1350.	16.09	52	1
127	95.	16.1	8.0	101.16	356.50	12.5	44.0	1187.	11.74	51	1
128	100.	13.2	8.3	89.27	206.00	7.5	40.0	752.	8.40	51	1
18	71.	15.0	7.1	76.48	278.75	10.7	41.4	984.	13.82	$\bar{x}$	
	18.	1.8	1.1	28.30	144.07	2.7	11.8	320.	5.45	s	
	0.196	0.117	0.162	0.370	0.517	0.256	0.286	0.325	0.394	v	

Zu den Versuchsergebnissen 51 - 60 Jahre männlich

18 von 21 entnommenen Rippen dieser Altersklasse konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden. Nur drei Rippen ließen sich trotz maximaler Belastung nicht brechen.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 91,0 mm, für die Rippenbreite 15,0 mm, für die Rippendicke 7,1 mm, für das Widerstandsmoment $76,48 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 278,75 mm kp, für die maximale Verformungskraft 10,7 kp, für den maximalen Verformungsweg 41,4 mm, für das Biegemoment 984,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $13,82 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 18,0 mm, für die Rippenbreite bei 1,8 mm, für die Rippendicke bei 1,1 mm, für das Widerstandsmoment bei $28,30 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 144,07 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 2,7 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 11,8 mm, für das Biegemoment bei 320,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $5,45 \text{ kp/mm}^2$.

Es ergibt sich ein Variationskoeffizient von 19,6 % für den Hebelarm, von 11,7 % für die Rippenbreite, von 16,2 % für die Rippendicke, von 37,0 % für das Widerstandsmoment, von 51,7 % für die aufgenommene Deformationsenergie, von 45,6 % für die maximale Verformungskraft, von 28,6 % für den maximalen Verformungsweg, von 32,5 % für das Biegemoment und von 39,4 % für die Bruchbiegespannung.

ALTERSBEREICH VON 61 BIS 70 JAHRE
MAENNlich

NR.	A	X	Y	W	EDER	SMAX	S	SIGN	ALT.	SEX
29	70.	16.4	5.5	54.16	186.75	19.0	1155.	21.32	62	1
40	70.	16.0	7.3	83.71	198.00	13.5	945.	11.29	62	1
56	103.	10.0	7.4	59.73	452.50	11.0	1030.	17.24	64	1
57	82.	17.1	7.2	87.33	352.00	10.0	823.	9.42	64	1
58	75.	12.0	10.3	134.36	323.00	12.5	1062.	7.91	72	1
59	95.	14.0	5.3	94.69	240.00	14.0	1330.	14.45	74	1
60	90.	13.3	12.0	253.71	148.00	3.5	545.	2.25	64	1
61	102.	20.4	7.6	115.63	428.00	11.5	1071.	9.26	63	1
75	90.	12.5	7.1	61.86	143.50	5.0	630.	13.18	65	1
76	90.	13.1	8.4	52.68	161.00	0.0	810.	15.38	65	1
87	95.	15.2	5.6	65.00	231.50	7.5	712.	10.96	73	1
88	100.	17.8	6.2	67.17	311.	1.0	1200.	17.36	70	1
122	125.	15.4	6.7	67.87	356.00	6.5	812.	11.97	70	1
130	115.	12.8	8.8	97.31	618.00	11.5	1322.	13.59	70	1
131	115.	13.8	7.9	84.55	354.00	9.5	1092.	12.92	66	1
132	105.	12.6	8.0	79.17	439.30	11.5	1207.	15.25	66	1
152	135.	15.0	6.6	64.15	395.00	7.5	1012.	15.78	64	1
153	145.	17.0	5.9	58.10	284.50	6.5	682.	11.75	64	1
158	90.	14.6	6.0	51.60	157.50	3.5	315.	6.10	64	1
159	95.	15.0	5.6	46.18	140.00	5.0	475.	10.29	64	1
178	80.	12.3	8.0	77.28	160.50	0.5	520.	6.73	63	1
179	123.	11.7	7.4	62.90	127.50	8.5	780.	12.40	63	1
188	105.	12.3	7.2	62.60	237.00	5.0	735.	11.74	63	1
189	85.	12.8	7.9	78.43	151.50	1.5	212.	2.71	63	1
198	70.	16.4	5.0	57.96	100.00	8.0	350.	6.04	65	1
199	70.	17.2	5.1	60.79	52.00	5.0	350.	5.76	65	1
222	90.	12.5	7.5	74.66	57.00	0.5	315.	4.22	68	1
223	85.	11.5	7.0	102.32	36.50	1.0	340.	3.32	68	1
224	115.	12.9	7.0	79.04	115.00	0.0	402.	5.09	67	1
225	105.	15.1	7.5	83.39	97.50	0.0	472.	5.67	67	1
230	85.	11.2	7.3	58.60	79.00	0.0	297.	5.08	63	1
231	85.	11.8	6.0	55.15	97.50	0.0	382.	6.94	63	1
251	85.	13.7	7.0	11.42	121.50	0.0	507.	8.93	67	1
252	80.	16.0	6.4	108.21	90.00	0.0	520.	4.81	67	1
34	95.	14.4	7.4	80.46	218.29	7.7	728.	2.83	7	1
	16.	2.3	1.3	37.38	140.18	0.5	333.	4.76	8	1
	0.172	0.160	0.173	0.465	0.642	0.457	0.433	0.458	0.444	1

Zu den Versuchsergebnissen 61 - 70 Jahre männlich

34 von 36 entnommenen Rippen konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden. Zwei Rippen brachen unglaublich früh.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 95,0 mm, für die Rippenbreite 14,4 mm, für die Rippendicke 7,4 mm, für das Widerstandsmoment $80,46 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 218,29 mm kp, für die maximale Verformungskraft 7,7 kp, für den maximalen Verformungsweg 44,6 mm, für das Biegemoment 728,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $9,83 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 16,0 mm, für die Rippenbreite bei 2,3 mm, für die Rippendicke bei 1,3 mm, für das Widerstandsmoment bei $37,38 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 140,18 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 3,5 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 19,2 mm, für das Biegemoment bei 333,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $4,76 \text{ kp/mm}^2$.

Es ergibt sich ein Variationskoeffizient von 17,2 % für den Hebelarm, von 16,0 % für die Rippenbreite, von 17,3 % für die Rippendicke, von 46,5 % für das Widerstandsmoment, von 64,2 % für die aufgenommene Deformationsenergie, von 45,7 % für die maximale Verformungskraft, von 43,0 % für den maximalen Verformungsweg, von 45,8 % für das Biegemoment und von 48,4 % für die Bruchbiegespannung.

ALTE KLINIK VON 71. J. 80. JAH.
NACHWACHS

NR.	A	X	Y	EDEF	SMAX	SIGMA	ALT.	S
31	45.	11.8	4.4	22.43	38.00	360.	16.05	75
35	55.	17.7	4.0	25.13	53.50	330.	17.17	75
39	90.	11.0	9.1	89.43	371.50	990.	11.07	75
146	127.	13.7	3.2	95.82	493.50	74.0	13.23	75
147	110.	12.0	7.5	66.27	266.50	660.	9.96	75
156	100.	13.3	8.0	83.57	345.00	1150.	12.71	75
157	105.	11.6	8.2	76.57	366.00	1155.	15.08	75
164	76.	12.7	6.3	49.49	40.00	304.	6.14	74
165	90.	12.2	4.7	26.46	55.00	315.	11.91	74
172	85.	10.5	6.0	37.11	113.50	425.	11.45	74
173	82.	10.6	7.8	63.31	72.00	411.	6.43	74
204	125.	14.6	9.3	116.10	394.50	66.0	3.61	74
205	120.	14.6	7.8	87.21	489.00	960.	11.01	74
234	90.	13.2	6.3	51.43	118.50	36.0	8.75	74
235	85.	13.0	7.5	71.79	192.00	34.0	10.06	74
241	75.	16.7	4.6	34.69	38.50	16.0	8.65	74
242	75.	16.5	5.5	49.00	32.50	18.0	4.59	74
249	100.	11.7	6.6	50.03	204.00	54.0	11.99	75
250	75.	15.4	7.0	74.08	103.00	33.0	4.05	75
250	90.	15.0	6.9	71.11	332.00	38.0	12.19	75
261	90.	16.4	5.2	43.54	125.00	52.0	9.30	75
261	110.	14.1	6.9	65.90	135.50	38.0	10.01	70
262	110.	14.2	6.8	64.46	235.50	58.0	11.09	75
275	130.	13.2	7.8	72.87	275.00	44.0	16.06	75
276	130.	15.0	6.4	60.32	336.00	42.0	15.09	75
277	75.	14.0	6.8	63.55	36.00	18.0	3.54	74
278	80.	14.6	7.2	74.30	73.00	26.0	4.00	75
281	95.	17.0	7.2	86.52	123.50	32.0	6.04	75
282	90.	18.0	6.9	84.13	78.50	26.0	1.31	75
283	80.	12.5	5.5	35.11	37.00	28.0	6.47	75
284	75.	13.2	4.6	27.42	44.00	26.0	8.21	75
31	92.	13.8	6.7	61.62	141.53	39.8	9.83	X
31.	2.0	1.3	22.77	144.10	2.6	19.3	3.65	S
3.222	3.144	0.202	3.374	3.76	1.1	1.1	1.541	V

Zu den Versuchsergebnissen 71 - 80 Jahre männlich

Alle 31 entnommenen Rippen konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 92,0 mm, für die Rippenbreite 13,8 mm, für die Rippendicke 6,7 mm, für das Widerstandsmoment $61,62 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 181,53 mm kp, für die maximale Verformungskraft 6,2 kp, für den maximalen Verformungsweg 39,8 mm, für das Biegemoment 596,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $9,8 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 21,0 mm, für die Rippenbreite bei 2,0 mm, für die Rippendicke bei 1,3 mm, für das Widerstandsmoment bei $22,77 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 144,10 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 2,6 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 19,3 mm, für das Biegemoment bei 323,00 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $3,65 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 22,2 %, für die Rippenbreite 14,4 %, für die Rippendicke 20,2 %, für das Widerstandsmoment 37,0 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 79,4 %, für die maximale Verformungskraft 41,0 %, für den maximalen Verformungsweg 48,4 %, für das Biegemoment 54,1 % und für die Bruchbiegespannung 37,3 %.

ALTERSBEREICH VON 41 BIS 90 JAHRE
MÄNNLICH

NR.	A	X	Y	u	EDUF	SMAX	SIGMA	ALT.	SEX		
66	90.	12.4	7.0	59.65	240.50	8.0	42.0	720.	12.77	95	1
67	110.	17.1	7.0	82.26	457.00	11.5	68.0	1240.	15.33	85	1
68	75.	13.7	8.6	99.48	89.00	7.5	23.0	562.	5.65	82	1
69	80.	17.2	7.3	89.99	88.53	9.0	18.0	723.	8.00	82	1
111	70.	15.7	5.0	38.53	178.75	7.5	35.0	675.	17.52	45	1
112	100.	14.9	6.4	59.92	226.25	7.5	41.0	758.	12.52	55	1
182	70.	15.7	4.7	35.36	140.50	5.5	52.0	425.	14.00	1	1
183	115.	15.5	5.	38.04	172.00	7.5	34.0	787.	22.70	1	1
202	85.	12.4	5.3	35.53	149.50	5.5	40.0	517.	13.15	1	1
203	105.	13.7	6.9	64.04	243.50	7.5	46.0	747.	12.30	1	1
208	105.	16.5	8.2	109.53	153.00	7.5	30.0	787.	7.19	1	1
209	80.	17.7	7.0	85.15	46.53	5.0	16.0	400.	4.70	1	1
226	75.	15.1	7.3	79.00	119.00	5.5	32.0	412.	5.22	1	1
227	75.	12.8	5.4	36.64	119.50	5.5	36.0	412.	11.26	1	1
253	100.	21.0	7.2	106.88	122.00	6.5	38.0	650.	6.38	1	1
254	100.	23.0	6.0	81.29	129.50	5.0	48.0	503.	6.15	30	1
16	92.	15.9	6.5	68.83	167.62	7.0	37.2	650.	10.74		$\bar{x}$
	12.	2.9	1.1	26.48	94.90	1.7	13.2	219.	4.81		s
	0.133	0.185	0.175	0.385	0.566	0.245	0.355	0.337	0.447		v

- - -

Zu den Versuchsergebnissen 81 - 90 Jahre männlich

Alle 16 entnommenen Rippen konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden.

Die arithmetischen Mittelwerte liegen für den Hebelarm bei 92,0 mm, für die Rippenbreite bei 15,9 mm, für die Rippendicke bei 6,5 mm, für das Widerstandsmoment bei $68,33 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 157,62 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 7,0 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 37,2 mm, für das Biegemoment bei 650,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $10,74 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen betragen für den Hebelarm 12,0 mm, für die Rippenbreite 2,9 mm, für die Rippendicke 1,1 mm, für das Widerstandsmoment $26,48 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 94,90 mm kp, für die maximale Verformungskraft 1,7 kp, für den maximalen Verformungsweg 13,2 mm, für das Biegemoment 219,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $4,81 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient erreicht für den Hebelarm 13,3 %, für die Rippenbreite 18,5 %, für die Rippendicke 17,5 %, für das Widerstandsmoment 38,5 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 56,6 %, für die maximale Verformungskraft 24,5 %, für den maximalen Verformungsweg 35,5 %, für das Biegemoment 33,7 % und die Bruchbiegespannung 44,7 %.

ALTERSBEREICH VON 0 BIS 1 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALI.	S.
313	40.	6.8	3.2	6.84	105.90	5.0	36.0	200.	29.26	0	0
314	40.	6.7	3.4	7.60	94.60	4.2	36.0	168.	22.09	3	0
330	40.	6.0	3.2	6.03	43.50	2.5	32.0	100.	16.58	0	0
331	40.	5.0	4.7	10.84	20.00	2.5	18.0	100.	9.22	0	0
4	40.	6.1	3.6	7.83	66.00	3.6	30.5	142.	19.29		$\bar{x}$
	0.	0.3	0.7	2.11	40.96	1.3	8.5	50.	8.48		s
	0.000	0.136	0.199	0.269	0.621	0.354	0.280	0.354	0.440		v

Zu den Versuchsergebnissen 0 - 1 Jahr weiblich

Von sieben entnommenen Rippen konnten nur vier in die Versuchsreihe aufgenommen werden. Drei Rippen ließen sich maximal belasten, brachen jedoch nicht.

Alle Rippen weisen einen Hebelarm von 40,0 mm auf. Als arithmetische Mittelwerte ergeben sich für die Rippenbreite 6,1 mm, für die Rippendicke 3,6 mm, für das Widerstandsmoment $7,83 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 66,0 mm kp, für die maximale Verformungskraft 3,6 kp, für den maximalen Verformungsweg 30,5 mm, für das Biegemoment 142,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $19,29 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen betragen für die Rippenbreite 0,8 mm, für die Rippendicke 0,7 mm, für das Widerstandsmoment $2,11 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 40,96 mm kp, für die maximale Verformungskraft 1,3 kp, für den maximalen Verformungsweg 8,5 mm, für das Biegemoment 50,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $8,48 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient für die Rippenbreite liegt bei 13,6 %, für die Rippendicke bei 19,9 %, für das Widerstandsmoment bei 26,9 %, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 62,1 %, für die maximale Verformungskraft bei 35,4 %, für den maximalen Verformungsweg bei 28,0 %, für das Biegemoment bei 35,4 % und für die Bruchbiegespannung bei 44,0 %.

ALTERSBEREICH VON 1 BIS 10 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDRF	FMAX	SMAX	R	SIGMA	Li. Sig
51	82.	10.4	4.2	18.01	260.00	6.5	68.0	93.4	29.59	0.00
1	82.	10.4	4.2	18.01	260.00	6.5	68.0	93.4	29.59	$\bar{x}$
	0.	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	0.	0.00	
1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	

Zu den Versuchsergebnissen 1 - 10 Jahre weiblich

Von sechs entnommenen Rippen ließ sich nur eine bis zum Bruch belasten, die anderen hielten maximaler Belastung stand.

Diese Rippe hat einen Hebelarm von 82 mm, eine Breite von 10,4 mm, eine Dicke von 4,2 mm, ein Widerstandsmoment von 18,01 mm³, eine aufgenommene Deformationsenergie von 260,0 mm kp, eine maximale Verformungskraft von 6,5 kp, einen maximalen Verformungsweg von 68,0 mm, ein Biegemoment von 533,0 mm kp und eine Bruchbiegespannung von 29,59 kp/mm².

Wie schon bei den männlichen Rippen im Bereich von 11 bis 20 Jahren angegeben (vgl. S. 45) sind hier die Werte für die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten nicht Null, sondern gehen gegen unendlich. Eine hohe aufnehmbare Deformationsenergie ist anzunehmen.

ALTERSBEREICH VON 0 BIS 10 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALT.	SE
51	82.	10.4	4.2	18.01	260.00	6.5	68.0	533.	29.59	8	0
313	40.	6.8	3.2	6.84	105.90	5.0	36.0	200.	29.26	0	0
314	40.	6.7	3.4	7.60	94.60	4.2	36.0	168.	22.09	0	0
330	40.	6.0	3.2	6.03	43.50	2.5	32.0	100.	16.58	0	0
331	40.	5.0	4.7	10.84	20.00	2.5	18.0	100.	9.22	0	0
5	48.	7.0	3.7	9.87	104.80	4.1	38.0	220.	21.35		$\bar{x}$
	19.	2.0	0.7	4.91	93.73	1.7	18.3	180.	8.67		s
	0.388	0.293	0.181	0.497	0.894	0.413	0.482	0.818	0.406		v

Zu den Versuchsergebnissen 0 - 10 Jahre weiblich

Fünf von 13 entnommenen Rippen dieser Altersgruppe ließen sich bis zum Bruch belasten.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 48,0 mm, für die Rippenbreite 7,0 mm, für die Rippendicke 3,7 mm, für das Widerstandsmoment $9,87 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 104,80 mm kp, für die maximale Verformungskraft 4,1 kp, für den maximalen Verformungsweg 38,0 mm, für das Biegemoment 220,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $21,35 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 19,0 mm, für die Rippenbreite bei 2,0 mm, für die Rippendicke bei 0,7 mm, für das Widerstandsmoment bei $4,91 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 93,73 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 1,7 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 18,3 mm, für das Biegemoment bei 180,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $8,67 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 38,8 %, für die Rippenbreite 29,3 %, für die Rippendicke 18,1 %, für das Widerstandsmoment 49,7 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 89,4 %, für die maximale Verformungskraft 41,3 %, für den maximalen Verformungsweg 48,2 %, für das Biegemoment 81,8 % und für die Bruchbiegespannung 40,6 %.

ALTERSBEREICH VON 11 BIS 20 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDER	FMAX	SMAX	A	SIGMA	ALT.	SE
324	105.	11.2	7.8	66.90	942.00	15.0	88.0	1575.	23.54	17	0
325	105.	9.9	7.2	50.38	671.00	13.0	68.0	1365.	27.70	17	0
2	105.	10.5	7.5	58.64	806.50	14.0	78.0	1470.	25.32		
	0.	0.9	0.4	11.68	191.63	1.4	14.1	148.	2.51		
	0.200	0.087	0.057	0.199	0.238	0.101	0.131	0.101	0.099		

1 X
0
V

Zu den Versuchsergebnissen 11 - 20 Jahre weiblich

Von zehn entnommenen Rippen ließen sich nur zwei bis zum Bruch belasten. Beide Rippen haben einen Hebelarm von 105,0 mm.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für die Rippenbreite 10,5 mm, für die Rippendicke 7,5 mm, für das Widerstandsmoment $58,64 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 806,50 mm kp, für die maximale Verformungskraft 14,0 kp, für den maximalen Verformungsweg 78,0 mm, für das Biegemoment 1470,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $25,32 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für die Rippenbreite bei 0,9 mm, für die Rippendicke bei 0,4 mm, für das Widerstandsmoment bei $11,68 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 191,63 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 1,4 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 14,1 mm, für das Biegemoment bei 148,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $2,51 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient ergibt für die Rippenbreite 8,7 %, für die Rippendicke 5,7 %, für das Widerstandsmoment 19,9 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 23,8 %, für die maximale Verformungskraft 10,1 %, für den maximalen Verformungsweg 18,1 %, für das Biegemoment 10,1 % und für die Bruchbiegespannung 9,9 %.

ALTERSBEREICH VON 21 BIS 30 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDER	FMAX	SMAX	M	SICMA	ALT.	SEX
38	93.	9.6	6.3	37.41	876.25	12.5	95.3	1162.	31.08	26	1
109	110.	11.6	4.8	26.24	259.10	7.5	46.0	825.	31.44	27	1
243	100.	13.5	7.0	64.94	212.00	7.5	53.0	750.	11.55	27	1
244	130.	12.7	7.1	62.85	318.50	8.0	62.0	1040.	16.55	27	1
332	85.	13.8	5.0	33.87	220.00	8.5	38.0	722.	21.33	30	1
333	85.	12.8	6.0	45.24	196.00	7.5	38.0	637.	14.09	37	1
334	120.	14.0	5.5	41.58	330.50	5.5	86.0	660.	15.87	30	1
335	90.	11.6	6.9	54.22	157.00	6.0	38.0	540.	9.96	30	1
344	130.	9.5	7.3	49.70	535.50	8.0	92.0	1040.	20.92	29	1
345	100.	12.0	5.2	31.86	291.50	8.1	54.0	830.	25.11	29	1
360	114.	12.7	5.8	41.94	578.50	3.5	136.3	935.	22.29	28	1
361	114.	12.0	5.9	41.01	176.00	4.0	60.0	440.	10.73	28	1
362	70.	11.4	5.0	27.98	66.50	4.5	26.0	315.	11.26	27	0
363	65.	9.0	5.0	22.09	93.50	5.3	33.0	325.	14.71	27	1
14	100.	11.9	5.9	41.49	307.92	7.2	58.6	728.	18.35	$\bar{X}$	
	20.	1.6	0.9	13.04	219.30	2.2	26.1	264.	7.21	S	
	0.201	0.133	0.149	0.314	0.712	0.299	0.445	0.363	0.393	V	

Zu den Versuchsergebnissen 21 - 30 Jahre weiblich

14 von 18 entnommenen Rippen ließen sich bis zum Bruch belasten und damit in die Versuchsreihe aufnehmen.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 100,0 mm, für die Rippenbreite 11,9 mm, für die Rippendicke 5,9 mm, für das Widerstandsmoment $41,49 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 307,92 mm kp, für die maximale Verformungskraft 7,2 kp, für den maximalen Verformungsweg 58,6 mm, für das Biegemoment 728,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $18,35 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 20,0 mm, für die Rippenbreite bei 1,6 mm, für die Rippendicke bei 0,9 mm, für das Widerstandsmoment bei $13,04 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 119,30 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 2,2 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 26,1 mm, für das Biegemoment bei 264,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $7,21 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 20,1 %, für die Rippenbreite 13,3 %, für die Rippendicke 14,9 %, für das Widerstandsmoment 31,4 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 71,2 %, für die maximale Verformungskraft 29,9 %, für den maximalen Verformungsweg 44,5 %, für das Biegemoment 36,3 % und für die Bruchbiegespannung 39,3 %.

ALTERSBEREICH VON 31 BIS 40 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALT.	SEX
20	115.	10.6	5.2	28.14	310.00	5.0	84.0	575.	20.43	33	1
21	110.	12.2	5.3	33.64	334.00	8.0	68.0	880.	26.16	33	1
95	105.	12.2	5.7	53.77	532.00	9.0	34.0	945.	17.58	37	1
96	110.	10.7	6.1	37.82	337.50	7.5	60.0	825.	21.82	37	1
141	110.	10.0	5.9	34.17	491.50	7.5	90.0	825.	24.14	36	1
102	105.	10.9	4.9	25.69	339.70	7.5	12.0	797.	30.65	36	1
133	120.	13.5	4.1	22.28	296.00	7.0	76.0	840.	37.70	44	1
184	105.	10.6	6.2	40.00	185.00	4.0	64.0	410.	10.00	35	1
145	115.	10.9	5.6	33.56	316.00	4.5	104.0	517.	15.42	35	1
285	100.	12.4	5.2	46.80	311.00	6.0	84.0	630.	12.82	33	1
286	120.	11.7	5.9	39.98	305.00	5.0	84.0	600.	15.31	33	1
326	90.	12.0	4.6	24.93	215.00	5.0	68.0	450.	18.05	36	1
327	95.	10.5	6.4	42.22	212.50	5.0	58.0	370.	11.25	36	1
328	100.	14.0	4.3	25.41	139.50	3.5	54.0	350.	13.77	40	1
329	100.	14.0	4.3	25.41	174.00	3.5	70.0	350.	13.77	40	1
336	80.	13.0	5.8	42.93	240.00	10.0	36.0	800.	18.63	32	1
337	80.	12.3	7.0	59.17	245.00	11.5	34.0	920.	15.55	32	1
17	103.	11.9	5.6	36.23	299.04	6.4	70.4	655.	18.99		X
	12.	1.3	0.9	10.63	107.20	2.3	13.4	203.	7.29		S
	0.117	0.107	0.158	0.293	0.358	0.361	0.262	0.317	0.384		V

Zu den Versuchsergebnissen 31 - 40 Jahre weiblich

17 von 21 entnommenen Rippen ließen sich in die Versuchsreihe aufnehmen. Eine Rippe brach unglaublich früh und drei Rippen ließen sich maximal belasten, brachen jedoch nicht.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 103,0 mm, für die Rippenbreite 11,9 mm, für die Rippendicke 5,6 mm, für das Widerstandsmoment $36,23 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 299,04 mm kp, für die maximale Verformungskraft 6,4 kp, für den maximalen Verformungsweg 70,4 mm, für das Biegemoment 655,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $18,99 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 12,0 mm, für die Rippenbreite bei 1,3 mm, für die Rippendicke bei 0,9 mm, für das Widerstandsmoment bei $10,63 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 107,20 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 2,3 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 18,4 mm, für das Biegemoment bei 208,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $7,29 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 11,7 %, für die Rippenbreite 10,7 %, für die Rippendicke 15,8 %, für das Widerstandsmoment 29,3 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 35,8 %, für die maximale Verformungskraft 36,1 %, für den maximalen Verformungsweg 26,2 %, für das Biegemoment 31,7 % und für die Bruchbiegespannung 38,4 %.

ALTERSBEREICH VON 41 BIS 50 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SICHA	ALT.	SEX
2	92.	14.1	5.6	43.41	321.00	11.0	42.0	1012.	23.31	48	0
11	95.	14.6	7.5	80.63	290.50	8.0	52.0	760.	9.43	49	0
27	78.	14.1	5.6	43.41	390.50	10.5	52.0	819.	18.87	48	0
70	105.	13.5	6.5	56.00	685.75	17.0	61.0	1785.	31.83	42	0
263	70.	10.9	6.7	48.04	91.00	5.0	28.0	350.	7.29	49	0
265	95.	12.2	5.7	38.91	387.50	7.5	70.0	712.	18.31	45	0
266	95.	12.3	6.0	43.47	152.50	7.5	44.0	712.	16.39	45	0
269	100.	11.4	5.0	27.98	227.00	5.0	72.0	500.	17.87	41	0
270	100.	11.8	5.4	33.78	259.50	5.0	78.0	573.	14.80	41	0
289	120.	12.0	6.4	48.25	351.50	4.5	98.0	540.	11.19	49	0
290	115.	11.8	6.3	45.98	222.50	5.0	60.0	575.	12.51	49	0
299	125.	12.8	6.9	59.83	422.50	8.0	78.0	1000.	16.71	41	0
300	140.	11.9	6.1	43.47	800.25	12.0	101.0	1680.	38.65	41	0
13	102.	12.6	6.1	47.17	354.00	8.2	64.3	842.	18.25	$\bar{x}$	
	19.	1.2	0.7	13.01	198.66	3.7	21.4	440.	8.79	s	
	0.186	0.092	0.112	0.276	0.561	3.449	0.333	0.523	0.482	v	

Zu den Versuchsergebnissen 41 - 50 Jahre weiblich

13 von 20 entnommenen Rippen konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden. Drei brachen unglaublich früh und vier Rippen brachen trotz maximaler Belastung nicht.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 102,0 mm, für die Rippenbreite 12,6 mm, für die Rippendicke 6,1 mm, für das Widerstandsmoment $47,17 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 354,0 mm kp, für die maximale Verformungskraft 8,2 kp, für den maximalen Verformungsweg 64,3 mm, für das Biegemoment 842,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $18,25 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen liegen für den Hebelarm bei 19,0 mm, für die Rippenbreite bei 1,2 mm, für die Rippendicke bei 0,7 mm, für das Widerstandsmoment bei $13,01 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 198,66 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 3,7 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 21,4 mm, für das Biegemoment bei 440,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $8,79 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 18,6 %, für die Rippenbreite 9,2 %, für die Rippendicke 11,2 %, für das Widerstandsmoment 27,6 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 56,1 %, für die maximale Verformungskraft 44,9 %, für den maximalen Verformungsweg 33,3 %, für das Biegemoment 52,3 % und für die Bruchbiegespannung 48,2 %.

ALTERSTERBEICH VON 51 BIS 69 JAHRE
WEIBLICH

VR.	A	X	t	w	ADDF	FM	SMAX	SIGMA	ALT.	SEX
15	100.	11.8	7.7	26.69	236.50	7.7	54.0	777.	26.23	51 0
24	95.	11.2	7.7	27.49	229.57	7.7	54.0	817.	22.46	51 0
30	55.	12.0	7.7	26.02	27.57	7.7	32.0	275.	17.57	51 0
79	95.	14.1	7.7	71.76	496.00	14.1	72.0	1337.	18.53	60 0
80	110.	11.5	7.7	66.94	935.50	14.1	90.0	1547.	23.31	60 0
85	90.	11.3	7.7	30.00	245.57	7.7	50.0	450.	21.37	54 0
86	105.	13.7	7.7	48.42	468.00	14.1	72.0	1368.	28.19	54 0
174	95.	13.0	7.7	27.01	85.00	7.7	38.0	332.	12.31	51 0
175	100.	12.5	7.7	18.67	70.00	7.7	40.0	257.	13.39	51 0

9	94.	12.3	5.7	38.11	340.39	8.1	55.6	550.	19.52	$\bar{x}$
	16.	1.1	1.3	19.45	301.31	4.5	19.7	500.	6.26	s
	0.165	0.085	0.232	0.514	0.885	0.556	0.337	0.111	0.321	v

Zu den Versuchsergebnissen 51 - 60 Jahre weiblich

Alle neun entnommenen Rippen konnten in die Versuchssreihe aufgenommen werden.

Als arithmetische Mittelwerte ergeben sich für den Hebelarm 94,0 mm, für die Rippenbreite 12,3 mm, für die Rippendicke 5,5 mm, für das Widerstandsmoment 38,11 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie 340,39 mm kp, für die maximale Verformungskraft 3,1 kp, für den maximalen Verformungsweg 55,6 mm, für das Biegemoment 782,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung 19,52 kp/mm².

Die Standardabweichungen betragen für den Hebelarm 16,0 mm, für die Rippenbreite 1,1 mm, für die Rippendicke 1,3 mm, für das Widerstandsmoment 19,45 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie 301,31 mm kp, für die maximale Verformungskraft 4,5 kp, für den maximalen Verformungsweg 18,7 mm, für das Biegemoment 502,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung 6,26 kp/mm².

Der Variationskoeffizient liegt für den Hebelarm bei 16,8 %, für die Rippenbreite bei 8,5 %, für die Rippendicke bei 23,2 %, für das Widerstandsmoment bei 51,0 %, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 88,5 %, für die maximale Verformungskraft bei 55,6 %, für den maximalen Verformungsweg bei 33,7 %, für das Biegemoment bei 64,1 % und für die Bruchbiegespannung bei 32,3 %.

ALTERSBEREICH VON 61 BI 70 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	Z	SWER	MAX	MIN	M	SIGMA	ALF.	SEK
91	70.	13.6	5.3	37.51	45.50	3.0	36.0	210.	5.60	64	0
154	100.	9.7	6.2	36.61	242.00	6.5	56.0	650.	17.76	73	1
155	95.	11.3	6.1	39.94	314.00	8.3	56.0	760.	19.03	73	1
162	90.	10.0	6.0	35.34	117.00	6.0	38.0	540.	15.28	69	0
163	80.	10.8	5.8	26.51	169.00	6.0	50.0	400.	18.11	64	0
166	90.	11.0	5.3	27.00	148.00	4.5	53.0	405.	15.00	63	0
167	85.	11.2	5.4	32.06	38.50	4.5	30.0	350.	11.93	62	0
171	95.	11.2	5.7	27.49	232.50	7.5	56.0	712.	25.92	61	0
194	95.	10.5	6.2	37.11	226.00	6.0	52.0	570.	15.36	63	0
195	70.	12.0	4.0	13.85	139.50	3.5	54.0	245.	13.03	63	0
196	105.	10.6	5.5	31.48	163.00	3.5	62.0	367.	11.67	65	0
197	100.	12.0	5.4	34.35	242.50	5.5	60.0	550.	16.01	65	0
210	90.	11.3	4.4	21.48	113.00	4.0	56.0	360.	16.76	65	0
211	85.	11.9	5.4	34.07	106.00	3.0	54.0	255.	7.49	65	0
216	80.	12.3	5.8	40.62	85.00	3.0	46.0	240.	5.91	66	0
217	80.	11.5	7.0	55.32	45.00	2.5	26.0	200.	3.62	66	0
220	80.	13.2	4.0	20.73	85.00	4.0	36.0	320.	15.43	63	0
221	80.	13.2	4.7	28.63	103.00	5.5	34.0	440.	15.37	63	0
228	105.	12.5	5.5	37.12	249.50	7.5	52.0	787.	21.21	67	0
229	110.	12.5	5.2	33.13	227.50	7.5	44.0	825.	24.36	67	0
236	85.	14.4	5.6	44.33	65.60	4.2	28.0	357.	8.15	64	0
237	75.	12.0	5.1	30.64	85.00	5.0	23.0	375.	12.24	64	0
239	70.	12.3	6.4	49.46	153.50	4.0	56.0	230.	5.66	68	0
240	90.	11.8	6.5	43.94	108.50	3.0	46.0	270.	5.52	63	0
271	80.	13.2	4.6	27.42	59.00	5.0	26.0	410.	14.59	61	0
272	75.	13.8	6.2	52.03	130.00	7.5	26.0	562.	10.80	61	0
273	90.	11.2	6.0	39.58	31.00	2.0	24.0	180.	4.55	70	0
274	90.	10.8	6.2	43.76	64.00	3.0	36.0	270.	6.62	70	0
279	85.	17.0	5.0	41.72	48.00	3.5	24.0	297.	7.13	60	0
280	85.	14.0	5.4	40.08	53.00	3.5	24.0	297.	7.42	60	0
30	87.	12.1	5.5	35.68	133.14	4.7	42.2	420.	12.63	IX S V	
	11.	1.5	0.7	9.03	78.64	1.7	12.9	185.	6.02		
	0.121	0.125	0.132	0.253	0.591	0.364	0.305	0.440	0.478		

Zu den Versuchsergebnissen 61 - 70 Jahre weiblich

30 von 33 entnommenen Rippen konnten in die Versuchsreihe eingehen. Zwei Rippen brachen unglaublich früh, eine trotz maximaler Belastung nicht.

Als arithmetischer Mittelwert ergibt sich für den Hebelarm 87,0 mm, für die Rippenbreite 12,1 mm, für die Rippendicke 5,5 mm, für das Widerstandsmoment $35,68 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 133,14 mm kp, für die maximale Verformungskraft 4,7 kp, für den maximalen Verformungsweg 42,2 mm, für das Biegemoment 420,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $12,60 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichungen betragen für den Hebelarm 11,0 mm, für die Rippenbreite 1,5 mm, für die Rippendicke 0,7 mm, für das Widerstandsmoment $9,03 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 78,64 mm kp, für die maximale Verformungskraft 1,7 kp, für den maximalen Verformungsweg 12,9 mm, für das Biegemoment 185,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $6,02 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient liegt für den Hebelarm bei 12,1 %, für die Rippenbreite bei 12,5 %, für die Rippendicke bei 13,2 %, für das Widerstandsmoment bei 25,3 %, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 59,1 %, für die maximale Verformungskraft bei 36,4 %, für den maximalen Verformungsweg bei 30,5 %, für das Biegemoment bei 44,0 % und für die Bruchbiegespannung bei 47,8 %.

ALTERSBEREICH VON 71 BIS 80 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	ALL.	
33	65.	11.2	5.0	27.49	187.50	7.5	44.0	487.	17.73	7.	0
52	85.	12.3	4.2	21.30	59.00	1.5	68.0	127.	5.99	70	0
90	100.	13.4	7.3	70.11	129.50	2.0	86.0	200.	2.85	75	0
110	100.	11.4	5.2	30.26	198.00	3.5	82.0	357.	11.57	74	0
113	90.	10.5	3.5	12.63	204.00	7.0	42.0	637.	49.89	71	0
114	80.	12.0	4.8	27.14	99.50	7.0	23.0	567.	27.63	74	0
160	65.	15.5	4.1	25.58	101.50	7.7	32.0	455.	17.79	76	0
161	52.	17.5	4.6	36.35	46.50	5.0	16.0	267.	7.15	70	0
176	100.	12.5	4.3	23.27	57.70	2.5	32.0	250.	8.84	78	0
177	80.	13.0	4.6	27.01	54.00	3.0	28.0	240.	8.39	78	0
200	70.	9.3	3.8	13.18	85.00	3.0	36.0	210.	15.93	71	0
212	80.	11.6	4.3	21.06	33.50	2.0	26.0	160.	7.60	78	0
213	55.	11.5	4.2	19.92	56.00	3.0	28.0	165.	8.28	78	0
214	70.	12.0	5.6	36.95	136.50	6.5	40.0	455.	12.32	74	0
232	105.	11.0	5.2	29.20	78.00	3.0	42.0	315.	10.79	78	0
233	85.	11.4	4.6	23.68	58.50	3.5	26.0	297.	12.56	75	0
245	75.	17.1	3.1	16.13	44.50	2.5	32.0	187.	11.62	70	0
246	78.	15.0	2.5	9.20	41.00	3.0	42.0	234.	25.42	70	0
247	80.	11.2	6.0	39.58	104.00	3.5	40.0	280.	7.07	75	0
248	95.	11.4	5.3	31.44	151.00	4.0	52.0	380.	12.09	78	0
20	80.	12.5	4.6	27.32	96.23	4.0	40.9	312.	13.75	$\bar{x}$	
	15.	2.2	1.0	12.98	54.52	1.9	18.6	141.	10.09	s	
0.137	0.172	0.226	0.475	0.567	0.483	0.455	0.451	0.734	v		

Zu den Versuchsergebnissen 71 - 80 Jahre weiblich

20 von 24 entnommenen Rippen konnten in die Versuchssreihe aufgenommen werden. Vier Rippen brachen unglaublich früh.

Die arithmetischen Mittelwerte liegen für den Hebelarm bei 80,0 mm, für die Rippenbreite bei 12,5 mm, für die Rippendicke bei 4,6 mm, für das Widerstandsmoment bei 27,32 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 96,23 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 4,0 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 40,9 mm, für das Biegemoment bei 312,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei 13,75 kp/mm².

Die Standardabweichungen betragen für den Hebelarm 15,0 mm, für die Rippenbreite 2,2 mm, für die Rippendicke 1,0 mm, für das Widerstandsmoment 12,98 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie 54,52 mm kp, für die maximale Verformungskraft 1,9 kp, für den maximalen Verformungsweg 18,6 mm, für das Biegemoment 141,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung 10,09 kp/mm².

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 18,7 %, für die Rippenbreite 17,2 %, für die Rippendicke 22,6 %, für das Widerstandsmoment 47,5 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 56,7 %, für die maximale Verformungskraft 48,3 %, für den maximalen Verformungsweg 45,5 %, für das Biegemoment 45,1 % und für die Bruchbiegespannung 73,4 %.

ALTERSBEREICH VON 81 BIS 90 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	w	EDEF	FMAX	MAX	g	h	h.f.	St
4	100.	12.7	4.6	26.38	239.00	7.0	48.0	7.0	26.53	91	0
10	80.	17.8	4.6	36.98	76.50	1.5	62.0	120.	3.25	86	0
16	95.	12.2	5.4	34.93	354.50	5.5	30.0	522.	14.96	91	0
89	75.	15.2	5.0	37.31	95.00	6.0	30.0	450.	12.06	86	0
105	90.	8.9	4.2	15.41	49.00	3.0	28.0	97.1	17.52	83	0
106	100.	10.5	4.6	21.31	74.50	3.0	40.0	311.	13.75	83	0
125	105.	13.7	4.8	33.99	14.00	1.0	30.0	175.	3.39	81	0
126	85.	12.3	4.5	24.45	10.00	1.5	30.0	42.	1.74	81	0
148	85.	13.6	4.1	22.42	50.00	2.5	28.0	212.	9.47	81	0
149	95.	13.5	4.0	21.21	24.00	1.5	28.0	142.	6.72	81	0
150	105.	12.6	6.8	57.20	306.00	6.0	66.0	630.	11.01	83	0
151	70.	13.2	4.1	21.78	248.50	6.5	62.0	455.	20.89	83	0
168	100.	10.0	5.0	24.54	160.50	4.0	58.0	400.	16.30	87	0
169	95.	9.7	5.2	25.75	244.00	5.3	64.0	475.	18.45	87	0
186	85.	11.5	5.6	35.41	98.50	3.0	54.0	255.	7.20	83	0
187	100.	12.8	4.6	26.59	75.00	2.5	50.0	250.	9.40	83	0
206	80.	13.9	3.0	12.28	78.00	3.0	42.0	240.	19.54	88	0
207	70.	10.5	5.5	31.18	65.00	3.5	34.0	245.	7.86	88	0
18	90.	12.5	4.8	28.15	125.67	3.0	46.3	323.	12.22	87	0
	11.	2.1	3.3	10.10	106.01	2.0	16.4	184.	6.80	87	0
	0.127	0.171	0.170	0.359	0.844	0.547	0.353	0.570	0.557	87	0

Zu den Versuchsergebnissen 81 - 90 Jahre weiblich

18 von 19 entnommenen Rippen konnten in die Versuchsreihe aufgenommen werden. Nur eine Rippe brach unglaublich früh.

Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Hebelarm 90,0 mm, für die Rippenbreite 12,5 mm, für die Rippendicke 4,8 mm, für das Widerstandsmoment $28,15 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie 125,67 mm kp, für die maximale Verformungskraft 3,6 kp, für den maximalen Verformungsweg 46,3 mm, für das Biegemoment 323,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung $12,22 \text{ kp/mm}^2$.

Die Standardabweichung liegt für den Hebelarm bei 11,0 mm, für die Rippenbreite bei 2,1 mm, für die Rippendicke bei 0,8 mm, für das Widerstandsmoment bei $10,10 \text{ mm}^3$, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 106,01 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 2,0 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 16,4 mm, für das Biegemoment bei 184,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei $6,80 \text{ kp/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 12,7 %, für die Rippenbreite 17,1 %, für die Rippendicke 17,0 %, für das Widerstandsmoment 35,9 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 84,4 %, für die maximale Verformungskraft 54,7 %, für den maximalen Verformungsweg 35,3 %, für das Biegemoment 57,0 % und für die Bruchbiegespannung 55,7 %.

b) Diagramme der einzelnen Rippenmerkmale als
Funktion des Lebensalters

Zum besseren Überblick sind auf den folgenden Seiten die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Rippenmerkmale als Funktion des Lebensalters aufgezeigt.

Es folgen Diagramme und Anmerkungen über:

1. Anzahl der entnommenen menschlichen Rippen
2. Anzahl der entnommenen männlichen Rippen
3. Anzahl der entnommenen weiblichen Rippen
4. Anzahl der Einzelversuche (n) in jeder Altersklasse
5. mittlere Rippenlänge (l)
6. mittlere Pfeilhöhe der Rippe (a) vor der Belastung
7. mittlerer Hebelarm der Rippe (A)
8. mittlere Rippenbreite (X)
9. mittlere Rippendicke (Y)
10. mittleres Widerstandsmoment (W)
11. Mittelwerte der aufgenommenen Deformationsenergie (EDEF)
12. Mittelwerte der Bruchlast (FMAX)
13. Mittelwerte des maximalen Verformungsweges (SMAX)
14. Mittelwerte des Biegemomentes (M)
15. Mittelwerte der Bruchbiegespannung (SIGMA)

Zu der Anzahl der menschlichen Rippen

Altersklasse	a	b	c	n	n in % von a
0 - 1	21	11	-	10	47,62
1 - 10	21	12	-	9	42,86
0 - 10	42	23	-	19	45,24
11 - 20	20	17	-	3	15,00
21 - 30	60	18	-	42	70,00
31 - 40	49	10	2	37	75,51
41 - 50	40	8	4	28	70,00
51 - 60	30	3	-	27	90,00
61 - 70	69	1	4	64	92,75
71 - 80	55	-	4	51	92,73
81 - 90	35	-	1	34	97,14

0 - 100 Jahre 400 80 15 305
 männl.+weibl. $\hat{=}$ $\hat{=}$ $\hat{=}$ $\hat{=}$
 100%=20,0%+3,75%+76,25%

a = Anzahl der entnommenen Rippen jeder Altersklasse

b = Anzahl der unter den Versuchsbedingungen maximal belastbaren, nicht gebrochenen Rippen

c = Anzahl der beim Einlegen in die Versuchseinrichtung bereits gebrochenen Rippen

n = Anzahl der verwertbaren Einzelversuche jeder Altersklasse

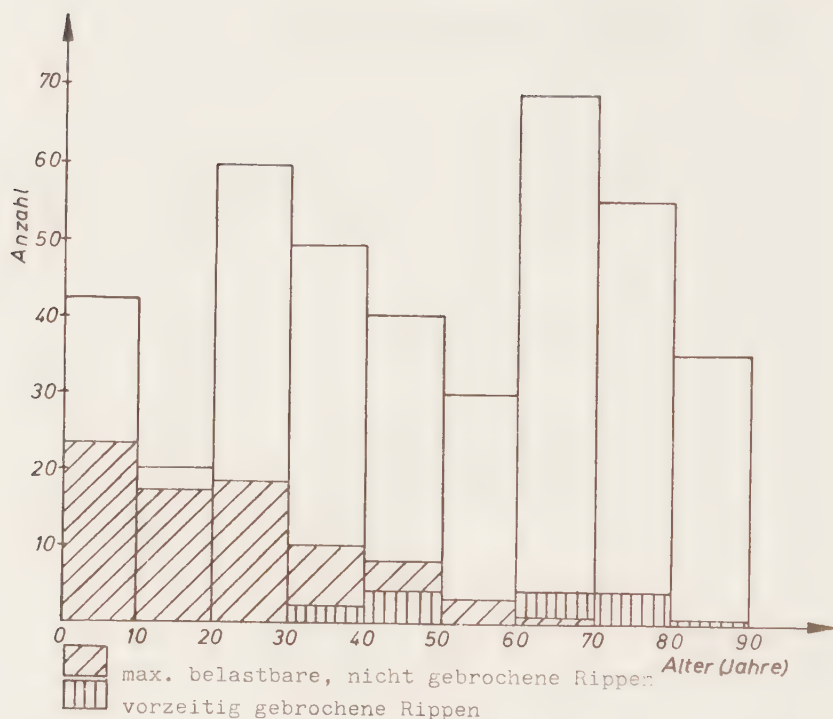


Diagramm über die Anzahl der entnommenen menschlichen Rippen

Das Diagramm veranschaulicht die in jeder Altersklasse entnommenen menschlichen Rippen. Die schrägschraffierten Felder zeigen den Anteil der unter der Versuchsanordnung maximal belastbaren, jedoch nicht gebrochenen Rippen. Der geringe Anteil der senkrecht schraffierten Felder bezeichnet die vorzeitig gebrochenen Rippen.

Es wird deutlich, daß sich mit zunehmendem Alter die Rippen leichter bis zum Bruch belasten lassen. Deutliche Geschlechtsunterschiede scheinen dabei nicht zu bestehen, wie aus den beiden folgenden Diagrammen zu entnehmen ist.

Zu der Anzahl der Rippen männlicher Personen

Altersklasse	a	b	c	n	n in % von a
0 - 1	14	8	-	6	42,86
1 - 10	15	7	-	8	53,33
0 - 10	29	15	-	14	48,28
11 - 20	10	9	-	1	10,00
21 - 30	42	14	-	28	66,66
31 - 40	28	7	1	20	71,45
41 - 50	20	4	1	15	75,00
51 - 60	21	3	-	18	85,71
61 - 70	36	-	2	34	88,88
71 - 80	31	-	-	31	100,00
81 - 90	16	-	-	16	100,00
0 - 100 Jahre	233	52	4	177	
männl.	$\hat{=}$	$\hat{=}$	$\hat{=}$	$\hat{=}$	
	100%=22,32%+1,72%+75,96%				

a = Anzahl der entnommenen Rippen jeder Altersklasse

b = Anzahl der unter den Versuchsbedingungen maximal belastbaren, nicht gebrochenen Rippen

c = Anzahl der beim Einlegen in die Versuchsanordnung bereits gebrochenen Rippen

n = Anzahl der verwertbaren Einzelversuche jeder Altersklasse

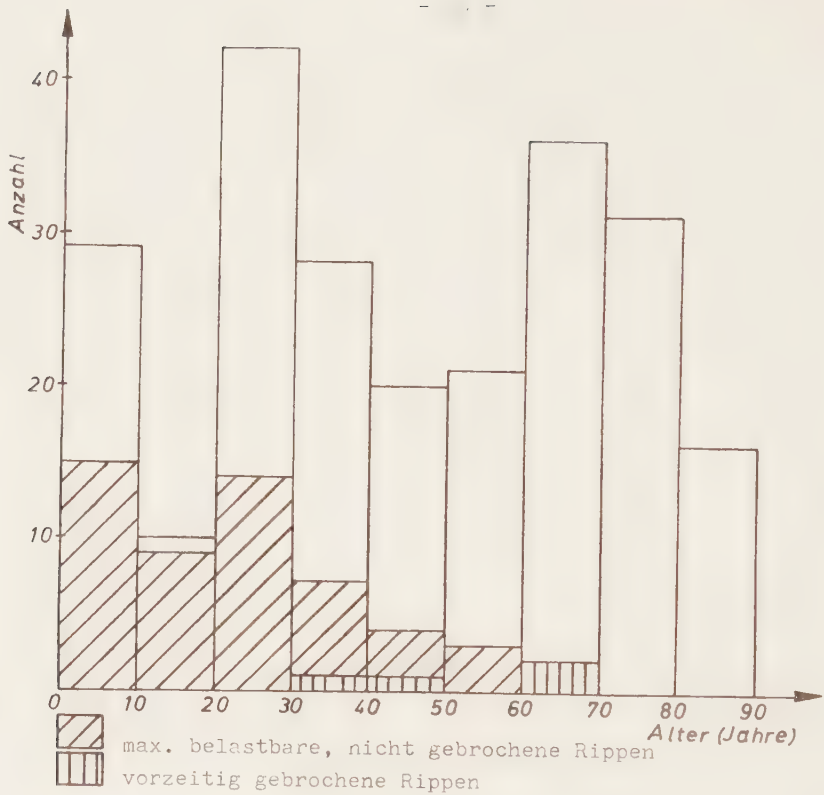


Diagramm über die Anzahl der entnommenen Rippen männlicher Personen

Hier wird deutlich, daß sich die Rippen der jugendlichen Altersklassen maximal belasten, jedoch unter der Versuchsanordnung nicht alle brechen lassen. Erst vom 60. Lebensjahr an sind alle Rippen bis zum Bruch belastbar.

Zu der Anzahl der Rippen weiblicher Personen

Altersklasse	a	b	c	n	n in % von a
0 - 1	7	3	-	4	57,14
1 - 10	6	5	-	1	16,66
0 - 10	13	8	-	5	38,46
11 - 20	10	8	-	2	20,00
21 - 30	18	4	-	14	77,77
31 - 40	21	3	1	17	80,95
41 - 50	20	4	3	13	65,00
51 - 60	9	-	-	9	100,00
61 - 70	33	1	2	30	90,91
71 - 80	24	-	4	20	83,33
81 - 90	19	-	1	18	94,73

0 - 100 Jahre	167	28	11	128
weibl.	$\hat{=}$	$\hat{=}$	$\hat{=}$	$\hat{=}$

$$100\% = 16,76\% + 6,59\% + 76,65\%$$

a = Anzahl der entnommenen Rippen jeder Altersklasse

b = Anzahl der unter den Versuchsbedingungen maximal belastbaren, nicht gebrochenen Rippen

c = Anzahl der beim Einlegen in die Versuchsanordnung bereits gebrochenen Rippen

n = Anzahl der verwertbaren Einzelversuche jeder Altersklasse

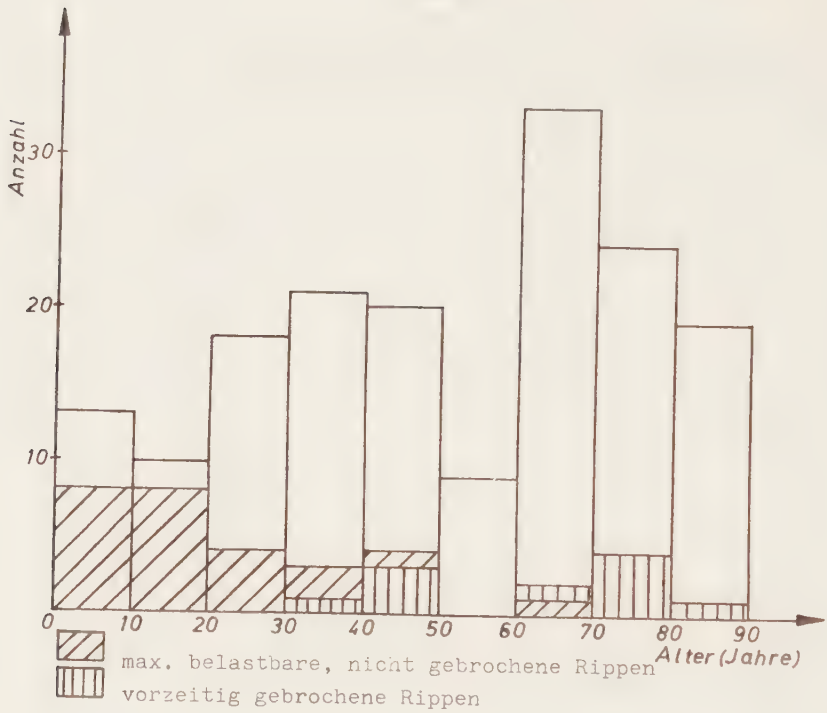
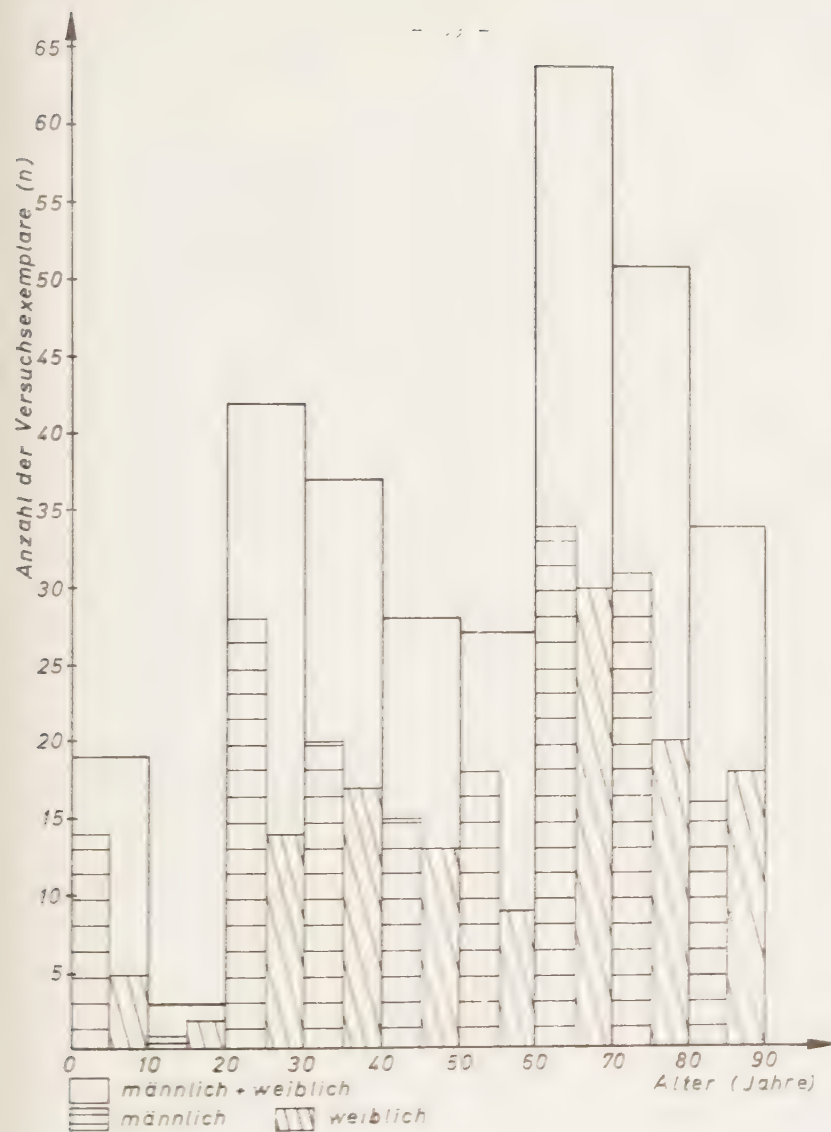
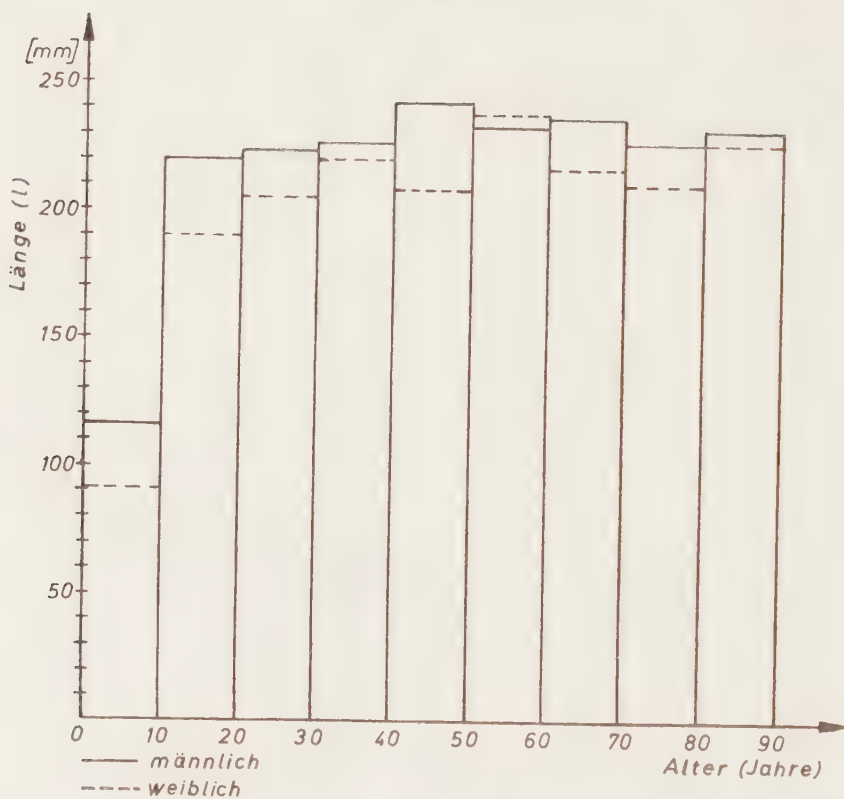


Diagramm über die Anzahl der entnommenen Rippen weiblicher Personen

Hier wird ebenfalls deutlich, daß sich die Rippen der jugendlichen Altersklassen wesentlich höher belasten lassen. Vom 60. Lebensjahr an lassen sie sich fast ausnahmslos bis zum Bruch belasten.





Stamm über die Rippenlänge (l) in den einzelnen

Altersjahre

Der Verlauf des Wachstums der Rippenlängenwachstum
 von ihm abgeschlossen ist und in der Länge der Rip-
 pen nur ein geringer Geschlechtsunterschied besteht.

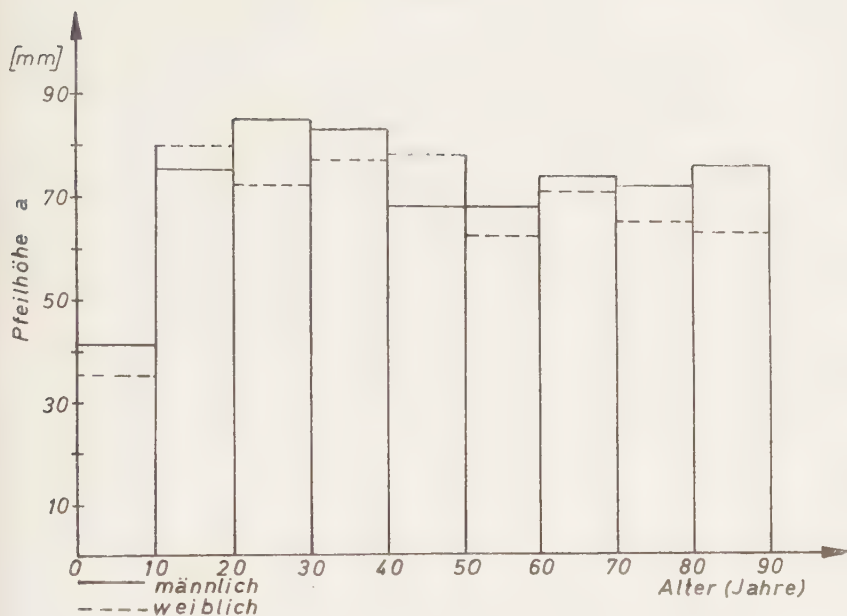


Diagramm über die Pfeilhöhen der Rippen (a) in den einzelnen Altersklassen

Auch hier erscheinen keine deutlichen Geschlechts- und Altersunterschiede.

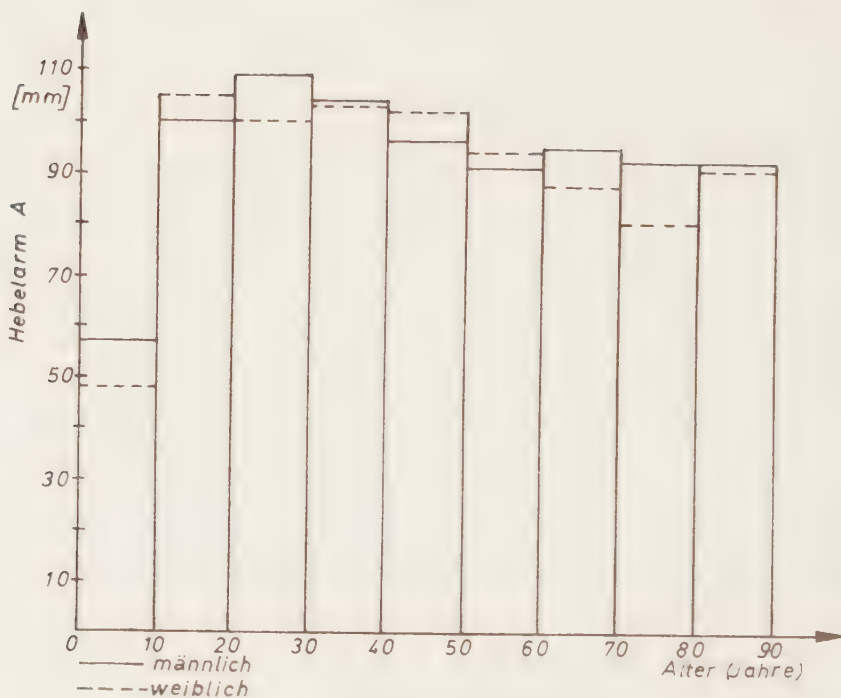


Diagramm über den statischen Hebelarm der Bizeps-A

Das Diagramm zeigt den statischen Hebelarm der Bizeps-A in Abhängigkeit vom Alter. Die y-Achse stellt den Hebelarm in mm dar, die x-Achse das Alter in Jahren. Die durchgezogene Linie steht für Männer (männlich) und die gestrichelte Linie für Frauen (weiblich). Der Hebelarm nimmt mit dem Alter ab. Bei 10 Jahren beträgt er für Männer ca. 58 mm und für Frauen ca. 48 mm. Bei 90 Jahren beträgt er für Männer ca. 90 mm und für Frauen ca. 90 mm.

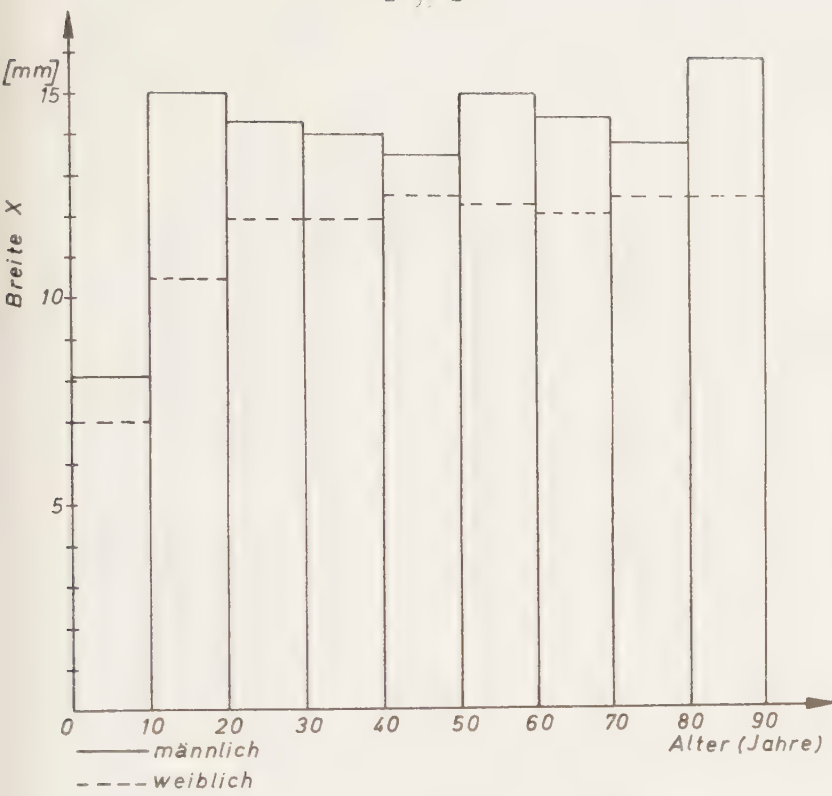


Diagramm über die mittlere Rippenbreite ($\bar{X}$)

Hier zeigt sich, daß Rippen weiblicher Personen insgesamt etwas schmaler sind als die der männlichen Altersgenossen.

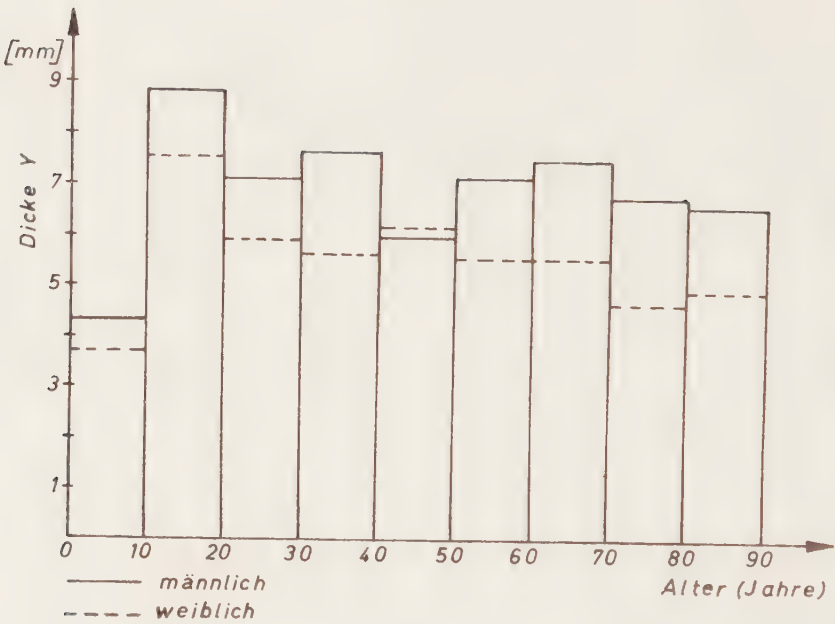


Diagramm über die mittlere Rippendicke (Y)

Die Rippendicke ist beim weiblichen Geschlecht geringer als beim männlichen und nimmt bei beiden Geschlechtern mit zunehmendem Alter ab.

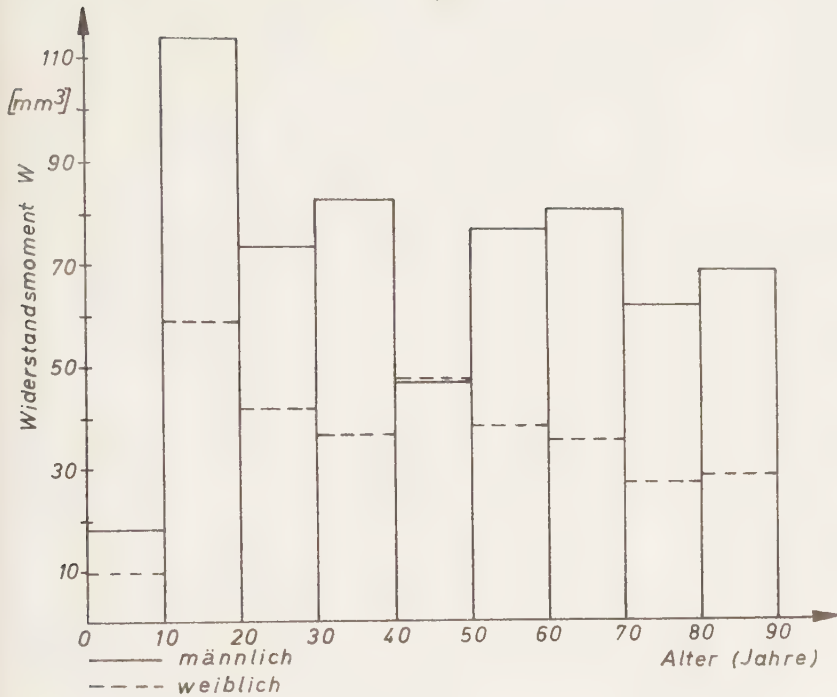


Diagramm über das mittlere Widerstandsmoment der Rippe (W)

Wir erinnern uns, daß das Widerstandsmoment unter der Annahme eines elliptischen Rippenquerschnittes ermittelt wird:

$$W = \frac{\pi \cdot X \cdot Y^2}{32} \quad (\text{mm}^3).$$

Da die Schwankungen der Rippenabmessungen kubisch in das Widerstandsmoment eingehen, ist es nicht verwunderlich, daß weibliche Rippen ein deutlich niedrigeres Widerstandsmoment aufweisen als männliche. Eine Altersabhängigkeit wird nicht deutlich.

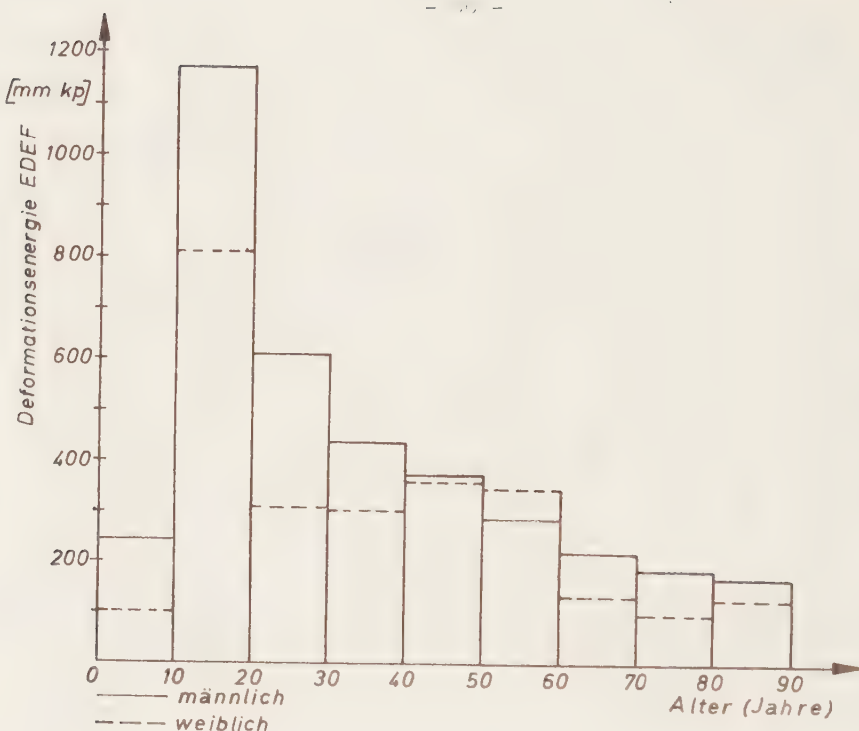


Diagramm über die aufgenommene Deformationsenergie (EDEF)

$$EDEF = \int F \, dS = \text{Kraft} \times \text{Weg (mm kp)}$$

Die aufgenommene Deformationsenergie ist vom 10. Lebensjahr an deutlich höher (dreimal so hoch) als nach dem 50. Lebensjahr. Die Werte innerhalb der Geschlechter differieren stark. Weibliche Rippen nehmen allgemein weniger Deformationsenergie auf als männliche. Nur zwischen dem 50. und 60. Lebensjahr nehmen die weiblichen Rippen höhere Deformationsenergie auf als die männlichen. Mit zunehmendem Alter fallen die Werte des weiblichen wieder deutlich unter die des männlichen Geschlechtes ab.

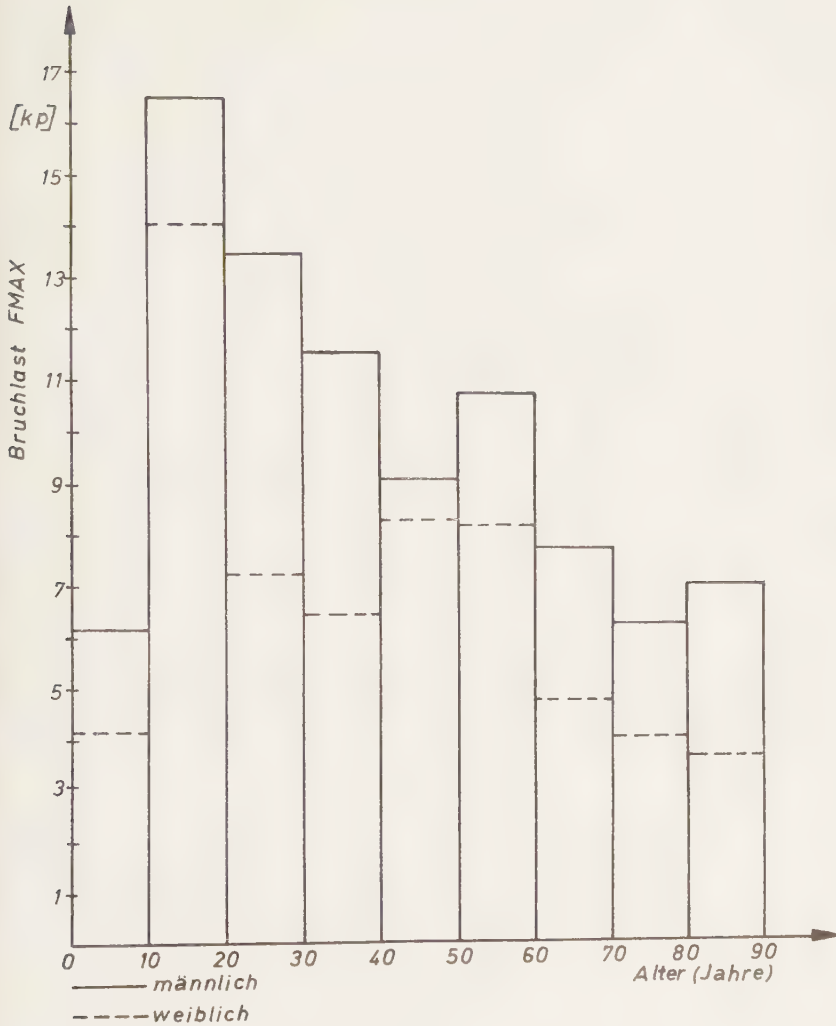


Diagramm über die maximale Verformungskraft (FMAX)

Das Diagramm verdeutlicht, daß männliche Rippen einer größeren Verformungskraft standhalten als weibliche. Mit steigendem Alter zeigt sich ein geschlechtsspezifisches Abfallen der Werte.

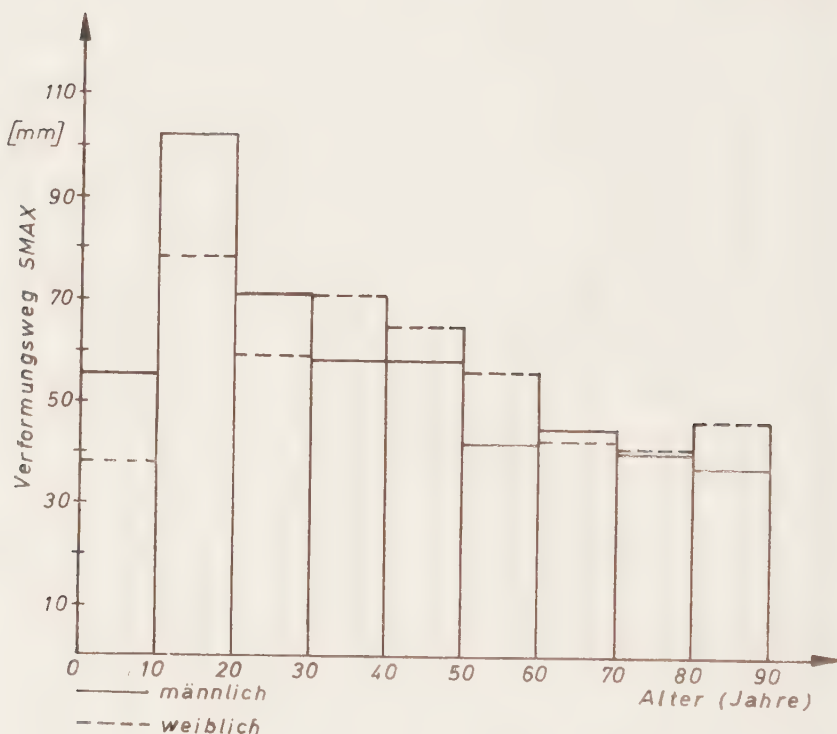


Diagramm über den maximalen Verformungsweg (SMAX)

Augenfällig erscheinen erstmalig fast durchgehend höhere Werte beim weiblichen Geschlecht. Geschlechtsunabhängigkeit zeigt sich auch hier mit zunehmendem Lebensalter im Abfallen der Werte.

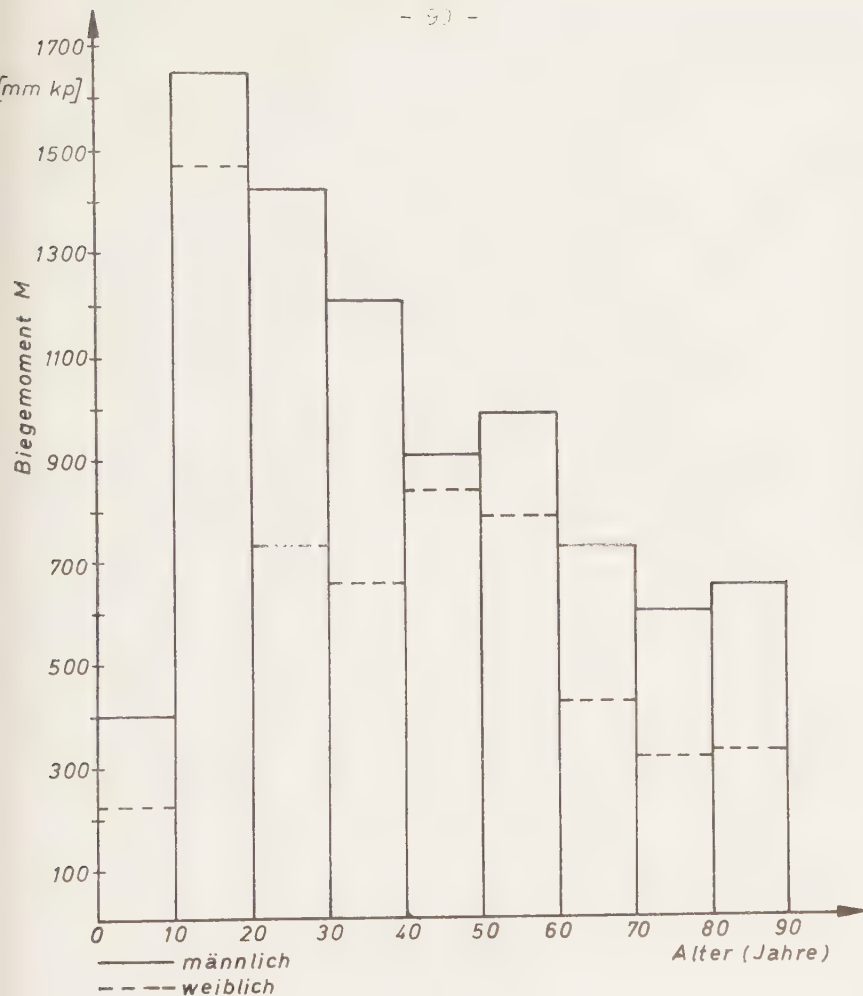


Diagramm über das Biegemoment (M)

Biegemoment $M = F \text{ (kp)} \times A \text{ (mm)} = \text{Kraft} \times \text{Hebelarm}$

Das an der Bruchstelle auftretende Biegemoment liegt beim männlichen Geschlecht deutlich höher als beim weiblichen.

Nach dem 40. Lebensjahr beim männlichen und nach dem 60. Lebensjahr beim weiblichen Geschlecht fallen die Werte deutlich ab.

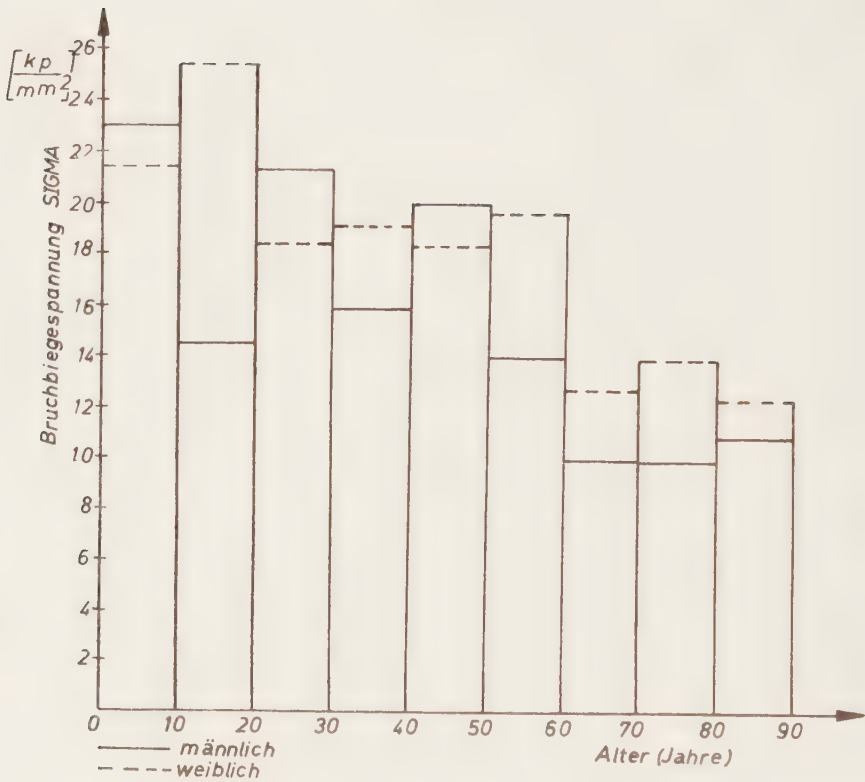


Diagramm über die Bruchbiegespannung (SIGMA)

Die Bruchbiegespannung liegt beim weiblichen Geschlecht etwas höher als beim männlichen. Besonders auffällig scheint das Absinken der Werte mit dem 50. Lebensjahr beim männlichen und 60. Lebensjahr beim weiblichen Geschlecht.

c) Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse setzen sich wie folgt zusammen:

- Versuchsergebnisse der männlichen Rippen
- Versuchsergebnisse der weiblichen Rippen
- Versuchsergebnisse der menschlichen Rippen
- Versuchsergebnisse der Schweinerippen

Auf den folgenden Seiten sind zu den Meßwerten jeder Altersgruppe untereinander der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$, die Standardabweichung s und der Variationskoeffizient v aufgeführt.

Unter der Angabe der Altersgruppe bedeuten die Abkürzungen:

- n = Anzahl der verwertbaren Einzelversuche jeder Altersklasse
- c = Anzahl der beim Einlegen in die Versuchsanordnung bereits gebrochenen Rippen
- b = Anzahl der unter den Versuchsbedingungen maximal belastbaren, nicht gebrochenen Rippen

	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SNAX	K	SIGMA
1 - 30 Jahre									
n = 28	109,0	14,3	7,1	73,11	608,29	13,1	70,6	1423,0	21,23
s = -	13,0	2,0	1,3	31,85	387,47	5,2	21,4	564,0	7,71
o = 14	0,162	0,143	0,186	0,430	0,637	0,393	0,303	0,396	0,363
31 - 40 Jahre									
n = 20	104,0	14,0	7,6	82,60	431,88	11,5	57,0	1204,0	15,72
s = 1	10,0	1,9	1,3	33,90	246,04	4,5	20,0	525,0	7,15
t = 1	0,157	0,138	0,177	0,410	0,570	0,392	0,340	0,436	0,455
41 - 50 Jahre									
n = 10	90,0	13,5	5,9	46,43	370,53	4,0	27,0	900,0	10,01
s = 1	10,0	1,0	0,8	12,30	220,38	3,9	15,0	465,0	10,01
t = 1	0,110	0,133	0,143	0,203	0,595	0,427	0,200	0,517	0,510
51 - 60 Jahre									
n = 1	0,0	15,0	7,1	70,48	270,75	10,7	51,0	600,0	15,00
s = -	0,0	1,0	1,1	28,30	144,07	2,0	11,0	200,0	0,00
t = 1	0,110	0,117	0,162	0,200	0,517	0,427	0,200	0,517	0,510

A		X	Y	n	ELZF	FMAX	SLMAX	n	SIGMA
1 - Jaune									
L =	L ₀	1,4	1,4	80,40	218,29	7,7	44,0	725,0	3,5
C =	-	3	1,2	37,38	140,18	3,5	19,2	333,0	0,05
L =	-	1,1	1,13	1,65	0,642	0,457	0,450	0,458	0,44
1 - Jaune									
L =	L ₀	1,5	1,7	61,62	161,53	5,2	30,0	510,0	1
C =	-	2,0	1,3	2,77	144,10	0,0	19,2	323,0	1,3
L =	-	0,28	0,2	370	0,794	0,410	0,484	0,541	0,55
1 - Jaune									
n =	10	15,2	0,1	26,2	167,00	7,0	30,2	950,0	10,74
C =	-	1,3	1,1	1,43	94,10	1,7	13,2	219,0	0,1
L =	-	1,1	0,175	1,65	0,500	0,245	0,305	0,337	0,44

Ver. Gensorgegebnisse weiblicher Rippen

- 1 2 3 -

		A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	S	SIGNA
1 - 1 Jahr										
n =	+	40,0	6,1	3,6	7,83	66,00	3,6	30,5	142,0	19,26
c =	-	0,0	0,8	0,7	2,11	40,96	1,3	8,5	50,0	8,48
p =	0	0,000	0,136	0,199	0,269	0,621	0,354	0,280	0,354	0,440
1 - 1 Jahre										
n =	1	62,0	10,4	4,2	18,31	260,00	6,5	68,0	533,0	21,53
c =	-	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00
p =	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1 - 1 Jahre										
n =	5	40,0	6,1	3,7	9,87	104,80	4,1	43,0	220,0	21,29
c =	-	19,0	2,0	0,7	4,91	93,73	1,7	13,3	130,0	8,67
p =	0	0,500	1,203	0,181	0,497	0,894	0,413	0,430	0,310	0,440
1 - 20 Jahre										
n =	2	45,0	11,5	7,5	53,64	806,50	14,0	70,0	550,0	23,20
c =	-	0	0,9	0,4	11,08	191,63	1,4	11,1	100,0	10,1
p =	0	0,000	0,000	0,057	0,159	0,238	0,101	0,181	0,100	0,12

		X	Y	W	EDEF	FWAX	SWAX	X	SIGNA
11 - 30 Jahre									
n = 14	$\bar{x}$	11,9	5,9	41,49	307,92	7,2	38,0	728,0	18,39
= -	s	20,0	9,9	13,04	219,30	2,2	20,1	264,0	7,21
= 4	v	0,204	0,149	0,314	0,712	0,299	0,445	0,363	0,303
1 - 10 Jahre									
n = 17	$\bar{x}$	11,9	5,6	36,33	299,04	6,4	70,4	656,0	18,09
= 1	s	18,9	9,9	19,63	107,20	2,3	16,4	208,0	7,29
= 3	v	0,117	0,133	0,293	0,358	0,361	0,262	0,317	0,304
11 - 30 Jahre									
n = 13	$\bar{x}$	12,0	6,1	47,17	354,00	8,2	64,3	84,0	18,15
= 3	s	13,0	6,7	17,01	198,66	3,7	21,4	448,0	7,1
= 4	v	0,126	0,112	0,276	0,561	0,449	0,333	0,383	0,322
1 - 10 Jahre									
n = 3	$\bar{x}$	94,0	5,5	38,11	340,39	8,1	25,0	762,0	18,52
= -	s	16,0	1,3	19,45	301,31	4,5	12,7	502,0	9,26
= -	v	0,168	0,085	0,232	0,885	0,556	0,337	0,641	0,321

		A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SNAX	M	SIGMA
61 - 70 Jahre										
n =	30	87,0	12,1	5,5	35,68	133,14	4,7	42,2	420,0	12,60
s =	2	11,0	1,5	0,7	9,03	78,64	1,7	12,9	185,0	6,02
s =	1	0,121	0,125	0,132	0,253	0,591	0,364	0,305	0,440	0,478
71 - 80 Jahre										
n =	20	80,0	12,5	4,6	27,32	96,23	4,0	40,9	312,0	13,75
s =	1	15,0	2,2	1,0	12,98	54,52	1,9	18,6	141,0	10,09
s =	-	0,187	0,172	0,226	0,475	0,567	0,483	0,455	0,451	0,734
81 - 90 Jahre										
n =	18	90,0	12,5	4,8	28,15	125,67	3,6	46,3	223,0	12,20
s =	1	11,0	1,1	0,8	10,10	106,01	2,0	18,4	154,0	6,00
s =	-	0,120	0,101	0,170	0,359	0,844	0,547	0,353	0,770	0,557

0 - 100 Jahre beide Geschlechter

	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	N	SIGMA
n = 305	93,0	13,1	6,2	53,54	275,22	7,6	51,1	734,0	15,16
s = 15	20,0	2,6	1,5	31,41	246,31	4,2	21,4	480,0	5,10
b = 0,6	0,217	0,198	0,246	0,587	0,895	0,556	0,419	0,053	0,235

Schweine

	n	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	N	SIGMA
n = 46	77,0	15,5	7,2	79,45	710,50	17,3	60,5	1392,0	20,89
s = -	21,0	3,7	1,4	34,69	455,65	8,3	19,4	779,0	10,80
b = 4	0,269	0,235	0,250	0,437	0,641	0,480	0,321	0,061	0,304

Vergleich der Festigkeitseigenschaften der menschlichen und Schweinerippen

Die Festigkeitseigenschaften der menschlichen und Schweinerippen

Die Zusammenstellung der Festigkeitseigenschaften der Menschen- und Schweinerippen (s. S. 108) läßt erkennen, daß die Gesamtheit der menschlichen Rippen geringere Festigkeitswerte aufweist als die der Schweine. Um eine mögliche Vergleichbarkeit der Rippen in Bezug auf mögliche Verletzbarkeit durch Sicherheitsgurte zu erhalten, werden die Festigkeitseigenschaften der Rippen der bei PKW - Unfällen am häufigsten beteiligten Jahrgänge mit denen der Schweinerippen verglichen.

Aus einer Statistik über Verkehrstote, Schwerverletzte und Leichtverletzte geht hervor, daß 1972 73,33 % der männlichen und 50 % der weiblichen Verkehrstoten zwischen 18 und 45 Jahre alt waren. In der gleichen Altersgruppe liegen die Schwerverletzten bei 79,27 % (männlich) bzw. 65,25 % (weiblich) und die Leichtverletzten bei 77,19 % (männlich) bzw. 68,68 % (weiblich) (diese Zahlen gelten für Berlin).(122)

Aus dem entsprechenden Altersbereich liegen 98 menschliche Rippen (60 männliche und 38 weibliche) zum Vergleich der Festigkeitseigenschaften mit 36 Schweinerippen vor.

Es folgen eine Übersicht über die statistischen Kenngrößen dieser Altersgruppe und eine Darstellung der Streubreite der Einzelwerte der Bruchbiegespannung SIGMA.

ALTERSBEREICH VON 18 BIS 45 JAHRE
MAENNLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAx	M	SIGMA	
60 105.	14.1	7.1	72.26	518.80	11.9	65.3	1261.	19.21	$\bar{x}$	
16.	1.9	1.4	32.26	330.47	4.8	20.1	546.	8.33	s	
0.155	0.134	0.193	0.446	0.637	0.405	0.308	0.433	0.434	v	

Zu den Versuchsergebnissen 18 - 45 Jahre männlich

Die arithmetischen Mittelwerte in diesem Altersbereich liegen für den Hebelarm bei 105,00 mm, für die Rippenbreite bei 14,1 mm, für die Rippendicke bei 7,1 mm, für das Widerstandsmoment bei 72,26 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 518,80 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 11,9 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 65,3 mm, für das Biegemoment bei 1261,00 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei 19,21 kp/mm².

Die Standardabweichung beträgt für den Hebelarm 16 mm, für die Rippenbreite 1,9 mm, für die Rippendicke 1,4 mm, für das Widerstandsmoment 32,26 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie 330,47 mm kp, für die maximale Verformungskraft 4,8 kp, für den maximalen Verformungsweg 20,1 mm, für das Biegemoment 546,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung 8,33 kp/mm².

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 15,5 %, für die Rippenbreite 13,4 %, für die Rippendicke 19,3 %, für das Widerstandsmoment 44,6 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 63,7 %, für die maximale Verformungskraft 40,5 %, für den maximalen Verformungsweg 30,8 %, für das Biegemoment 43,3 % und für die Bruchbiegespannung 43,4 %.

ALTERSBEREICH VON 18 BIS 45 JAHRE
WEIBLICH

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	
38	103.	11.9	5.8	39.48	324.46	7.2	66.3	743.	19.32	$\bar{x}$
	16.	1.3	0.8	11.78	182.89	2.8	21.7	324.	7.56	s
	0.157	0.108	0.146	0.298	0.564	0.388	0.327	0.436	0.391	v

Zu den Versuchsergebnissen 18 - 45 Jahre weiblich

In diesem Altersbereich kommen 38 Versuchsergebnisse zur Auswertung.

Die arithmetischen Mittelwerte liegen für den Hebelarm bei 103,0 mm, für die Rippenbreite bei 11,9 mm, für die Rippendicke bei 5,8 mm, für das Widerstandsmoment bei 39,48 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 324,46 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 7,2 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 66,3 mm, für das Biegemoment bei 743,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei 19,32 kp/mm².

Die Standardabweichung beträgt für den Hebelarm 16,0 mm, für die Rippenbreite 1,3 mm, für die Rippendicke 0,8 mm, für das Widerstandsmoment 11,78 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie 182,89 mm kp, für die maximale Verformungskraft 2,8 kp, für den maximalen Verformungsweg 21,7 mm, für das Biegemoment 324,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung 7,56 kp/mm².

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 15,7 %, für die Rippenbreite 10,9 %, für die Rippendicke 14,6 %, für das Widerstandsmoment 29,8 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 56,4 %, für die maximale Verformungskraft 38,8 %, für den maximalen Verformungsweg 32,7 %, für das Biegemoment 43,6 % und für die Bruchbiegespannung 39,1 %.

ALTERSBEREICH VON 18 BIS 45 JAHRE
BEIDE GESCHLECHTER

NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAX	M	SIGMA	
98 104.	13.3	6.6	59.55	443.45	10.1	65.7	1060.	19.25	$\bar{x}$	
16.	2.0	1.3	30.72	297.06	4.8	20.6	535.	8.00	s	
0.155	0.150	0.205	0.516	0.670	0.471	0.314	0.504	0.415	v	

Zu den Versuchsergebnissen 18 - 45 Jahre, beider Geschlechter

98 Versuchsergebnisse kommen zur Auswertung.

Der arithmetische Mittelwert beträgt für den Hebelarm 104,0 mm, für die Rippenbreite 13,3 mm, für die Rippendicke 6,6 mm, für das Widerstandsmoment 59,55 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie 443,45 mm kp, für die maximale Verformungskraft 10,1 kp, für den maximalen Verformungsweg 65,7 mm, für das Biegemoment 1060,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung 19,25 kp/mm².

Die Standardabweichung liegt für den Hebelarm bei 16,0 mm, für die Rippenbreite bei 2,0 mm, für die Rippendicke bei 1,3 mm, für das Widerstandsmoment bei 30,72 mm³, für die aufgenommene Deformationsenergie bei 297,06 mm kp, für die maximale Verformungskraft bei 4,8 kp, für den maximalen Verformungsweg bei 20,6 mm, für das Biegemoment bei 535,0 mm kp und für die Bruchbiegespannung bei 8,0 kp/mm².

Der Variationskoeffizient ergibt für den Hebelarm 15,5 %, für die Rippenbreite 15,0 %, für die Rippendicke 20,5 %, für das Widerstandsmoment 51,6 %, für die aufgenommene Deformationsenergie 67,0 %, für die maximale Verformungskraft 47,1 %, für den maximalen Verformungsweg 31,4 %, für das Biegemoment 50,4 % und für die Bruchbiegespannung 41,5 %.

ALTERSPEREICH VON 0 BIS 0 JAHRE SCHWEINE
BEIDE GESCHLECHTER

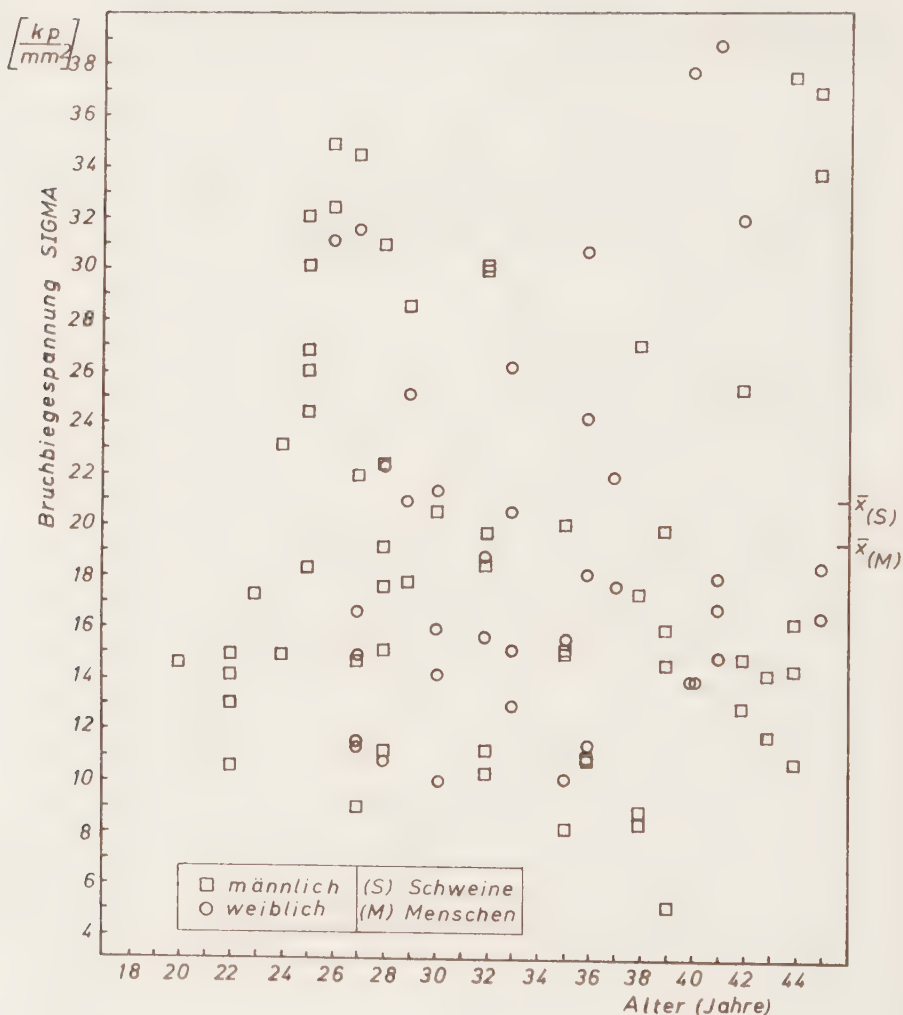
NR.	A	X	Y	W	EDEF	FMAX	SMAx	M	SIGMA	
36	77.	15.8	7.2	79.45	710.50	17.3	60.5	1392.	20.89	$\bar{x}$
	21.	3.7	1.8	34.69	455.65	8.3	19.4	779.	16.80	s
	0.269	0.235	0.250	0.437	0.641	0.480	0.321	0.560	0.804	v

Zu den Versuchsergebnissen der Schweinerippen

Um über 36 Schweinerippen zu einer Aussage zu gelangen, mußten 40 Rippen entnommen werden. 10 % ließen sich maximal belasten, brachen jedoch nicht.

Der arithmetische Mittelwert des Hebelarms liegt bei 77 mm, der der Breite bei 15,8 mm, der Dicke bei 7,2 mm. Das Widerstandsmoment beträgt 79,45 mm², die aufgenommene Deformationsenergie 710,50 kp mm, die maximale Verformungskraft 17,3 kp, der maximale Verformungsweg 60,5 mm, das Biegemoment 1392,0 mm kp und die Bruchbiegespannung 20,89 kp/mm². Die Standardabweichungen bemessen sich für den Hebelarm auf 21 mm, für die Rippenbreite auf 3,7 mm, für die Rippendicke auf 1,8 mm, für das Widerstandsmoment auf 34,69 mm³, für die Deformationsenergie auf 455,65 kp mm, für die maximale Verformungskraft auf 8,3 kp, für den maximalen Verformungsweg auf 19,4 mm, für das Biegemoment auf 779 kp mm und für die Bruchbiegespannung auf 16,80 kp/mm².

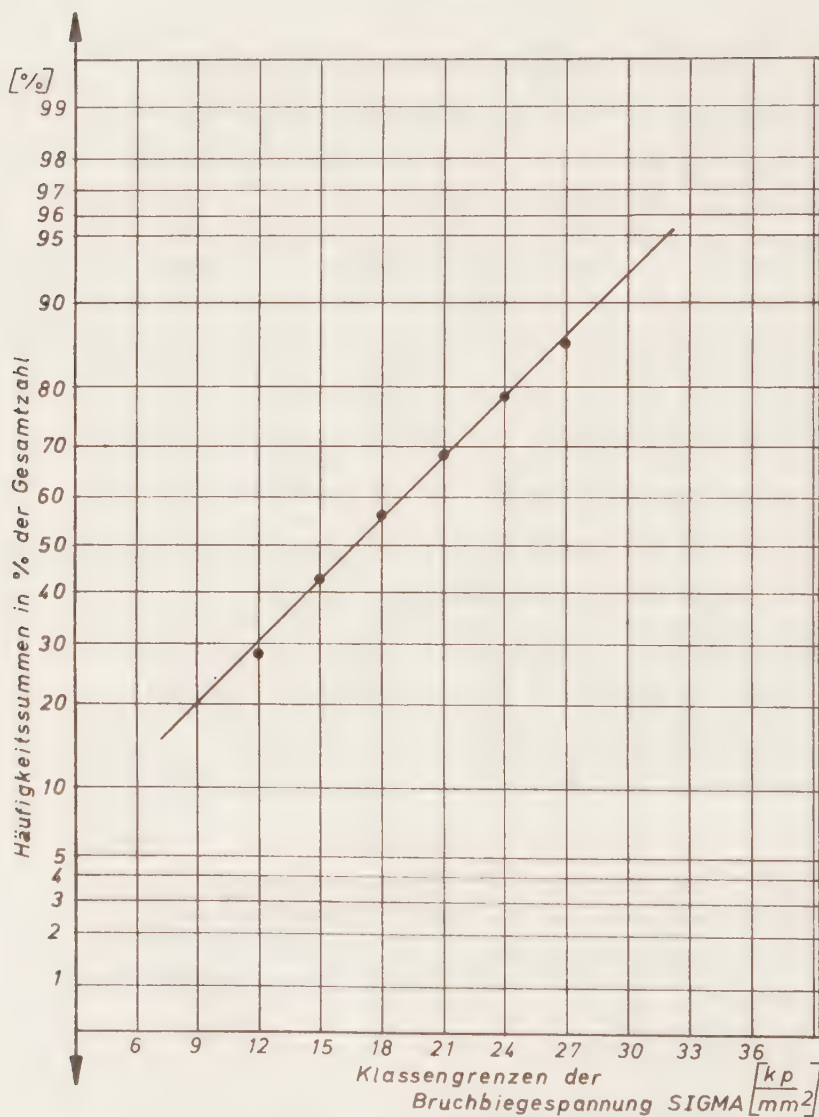
Entsprechend liegt der Variationskoeffizient des Hebelarms bei 26,9 %, der Rippenbreite bei 23,5 %, der Rippendicke bei 25 %, des Widerstandsmomentes bei 43,7 %, der aufgenommenen Deformationsenergie bei 64,1 %, der maximalen Verformungskraft bei 48 %, des maximalen Verformungsweges bei 32,1 %, des Biegemomentes bei 56 % und der Bruchbiegespannung bei 80,4 %.



Darstellung der Streubreite der Bruchbiegespannung SIGMA in der Altersgruppe 18 - 45 Jahre.
 Am Rand rechts ist der Mittelwert $\bar{x}_{(M)}$ eingezeichnet, zum Vergleich auch der der Schweine $\bar{x}_{(S)}$.

In der Länge des Hebelarms ergeben sich keine Geschlechtsunterschiede. Die Rippenbreite und Rippendicke sind beim weiblichen Geschlecht geringer, sie liegen an der unteren Grenze der Standardabweichung des männlichen Geschlechtes. Entsprechend errechnet sich bei Annahme eines elliptischen Querschnittes ein niedrigeres Widerstandsmoment. Bei etwa gleichem maximalen Verformungsweg wird nur etwa die Hälfte der maximalen Verformungskraft beim weiblichen Geschlecht benötigt. Entsprechend nehmen die weiblichen Rippen nur etwa halb so viel Deformationsenergie auf wie die des männlichen Geschlechtes. Daraus ergibt sich ebenfalls ein nur etwa halb so großes Biegemoment (es errechnet sich aus dem Hebelarm und der maximalen Verformungskraft). Bei der Bruchbiegespannung zeigt sich kein Geschlechtsunterschied. So läßt sich trotz eines kürzeren Hebelarmes der Schweinerippen, bei annähernd gleicher Rippenbreite und Rippendicke, ein nur geringfügig höheres Widerstandsmoment errechnen. Das Biegemoment liegt entsprechend der höheren Verformungskraft, bei etwa gleichem Verformungsweg, jedoch wegen des geringeren Hebelarmes nur wenig höher als beim Menschen männlichen Geschlechtes. Die mittlere Bruchbiegespannung liegt ebenfalls nur wenig höher als beim Menschen.

Zur Klärung der Frage, wie weit menschliche und Schweinerippen vergleichbare Festigkeitseigenschaften aufweisen, bedarf es zunächst der Prüfung, ob die Meßwerte der vorliegenden Stichprobe in der Population normalverteilt sind.



Die Darstellung zeigt die für jede Klasse der primären Tafel errechneten Häufigkeitssummen in Prozent der Gesamtzahl der Meßwerte der Bruchbiegespannung SIGMA als Punkte auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz. Da sich durch diese Punkte eine Gerade legen läßt, ist eine Normalverteilung der Meßwerte anzunehmen.

Aus der empirischen Liste der Stichprobe menschlicher Rippen werden die Werte eines Festigkeitsmerkmals (hier der Bruchbiegespannung SIGMA) in gleiche Klassen eingeteilt. Über jeder Klassengrenze werden die entsprechenden Häufigkeitssummen in Prozent der Gesamtzahl eingetragen. Läßt sich durch diese Punkte eine Gerade legen, ist eine Normalverteilung anzunehmen (s. Abb. S. 116).

Unter dieser Voraussetzung läßt sich die Verteilungsdichte der Messungen formelmäßig durch die Gauß'sche Verteilung ersetzen, wodurch glattere Kurven entstehen. Die Verteilungsdichte der Bruchbiegespannung kann dann mit dem Digital - Plotter für Mensch und Schwein dargestellt werden.

Die Berechnung erfolgt mit Hilfe der Formeln für die Dichtefunktion der Meßwerte der jeweiligen Gruppe

$$f(x) = \frac{1}{s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{x}}{s} \right)^2}$$

und für die Summenfunktion

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(u) du = \frac{1}{s \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{u - \bar{x}}{s} \right)^2} du$$

Dabei sind:

x = Wert der Zufallsvariablen

e = Eulersche Zahl (2,71828)

π = Verhältnis des Kreisumfanges zum Durchmesser (3,14159)

$\bar{x}$ = arithmetisches Mittel der Verteilung

s = Standardabweichung der Verteilung

Zu beachten sind weiterhin:

Bei der Gauß'schen oder Normalverteilung hat die Wahrscheinlichkeitsdichte ihr Kurvenmaximum an der Stelle ($x = \bar{x}$) des arithmetischen Mittelwertes. Die Wahrscheinlichkeitsdichte wird um so geringer, je größer die Abweichung des x -Wertes vom Mittelwert ist. Der Flächeninhalt zwischen der glockenförmigen, symmetrischen Dichtekurve und der x -Achse ist stets gleich 1.

Da die Glockenform der Gauß'schen Verteilungskurve ihr Maximum bei $x = \bar{x}$ hat und von der Standardabweichung s abhängig ist, bedeutet eine Änderung von $\bar{x}$ bei gleichbleibendem s eine Kurvenverschiebung längs der x -Achse, eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung von s eine Stauchung bzw. Streckung der Glockenform.

Ist eine Variable normal verteilt, liegen im einfachen Streuungsbereich um den Mittelwert ($\bar{x} - s$; $\bar{x} + s$) 68,26 %, um den doppelten Streuungsbereich ($\bar{x} - 2s$; $\bar{x} + 2s$) 95,44 % und um den dreifachen Streuungsbereich ($\bar{x} - 3s$; $\bar{x} + 3s$) 99,73 % aller Werte.

Um nun verschiedene Gauß'sche Verteilungskurven miteinander vergleichen zu können, benutzt man meistens die normierte oder standardisierte Normalverteilung. Dabei wird $\bar{x} = 0$ und $s = 1$ gesetzt. Die Transformationsgleichung lautet $u = \frac{x - \bar{x}}{s}$. Somit lautet die Formel für die Dichtefunktion für die normierte Normalverteilung

$$f(x) = \frac{1}{s \sqrt{\pi}} e^{-\frac{1}{2} u^2}$$

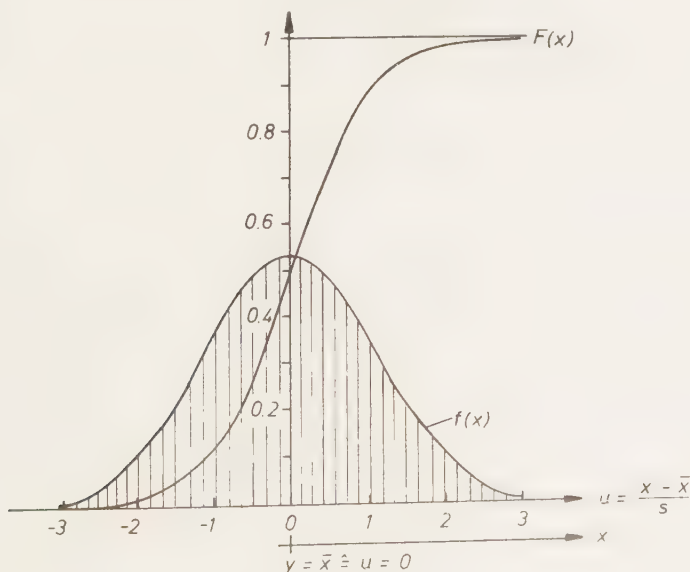
Bei der Anwendung der Normalverteilung arbeitet man meist nicht mit der Dichte, sondern mit der Wahrscheinlichkeit

dafür, daß ein Variablenwert in ein bestimmtes Intervall fällt. Dazu benutzt man die Summenfunktion der Normalverteilung, die auch als Gauß'sches Integral oder Gauß'sche Summenfunktion bezeichnet wird. Sie entspricht der integrierten Dichte und hat eine S-förmige Gestalt.

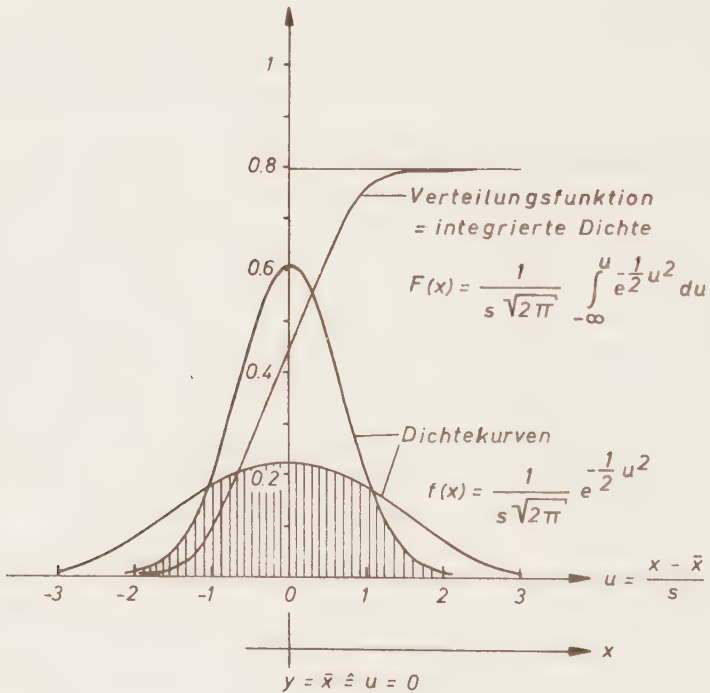
Soll nun die Wahrscheinlichkeit dafür bestimmt werden, daß die normierte Variable u einen Wert zwischen u_1 und u_2 annimmt, so ist die Differenz zu berechnen, die dem Flächenstreifen unter der Dichtekurve zwischen den Ordinaten an den Stellen u_1 und u_2 entspricht. Die Summenfunktion hierfür lautet:

$$F(x) = \frac{1}{s \sqrt{2\pi}} \int_{u_2}^{u_1} e^{-\frac{1}{2} u^2} du$$

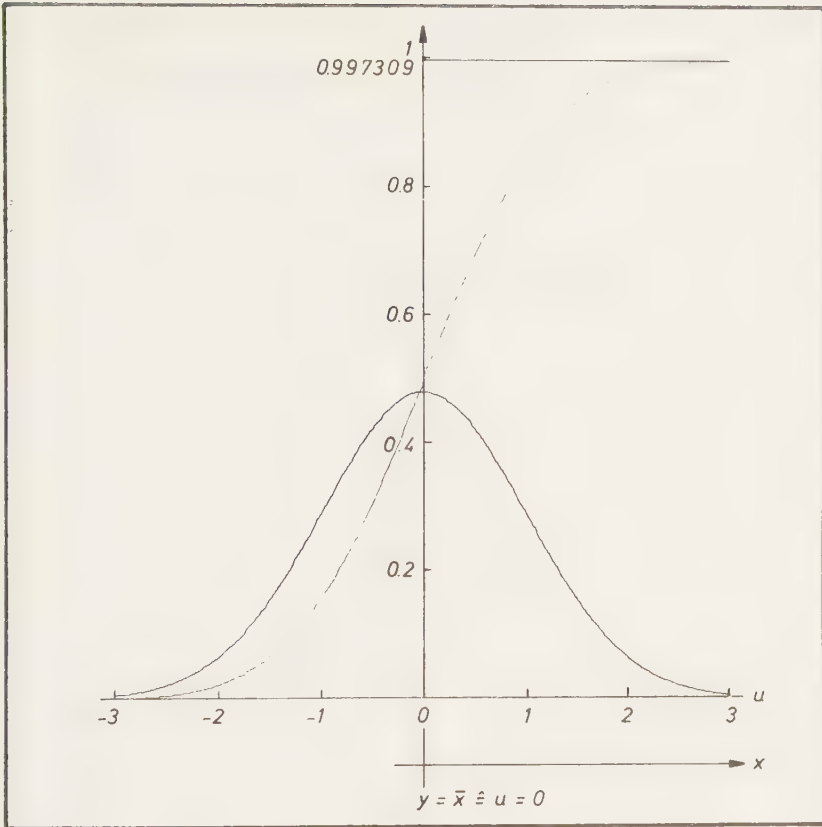
Nach diesen Formeln werden die Verteilungsdichte der Bruchbiegespannungen in Form einer Glockenkurve und deren Integral S-förmig mit dem Digital-Plotter aufgezeichnet. Dabei ist der Flächeninhalt zwischen der Abszisse ($u = \frac{x - \bar{x}}{s}$) und der nach der normierten Dichtefunktion errechneten und dargestellten Glockenkurve gleich eins. Entsprechend geht das nach der Summenfunktion ermittelte und dargestellte Gauß'sche Integral gegen eins:



Werden nun zwei Dichteverteilungen miteinander verglichen, entspricht die sich überdeckende Fläche unter den Dichtekurven der gemeinsamen Wahrscheinlichkeit des Ereignisses.

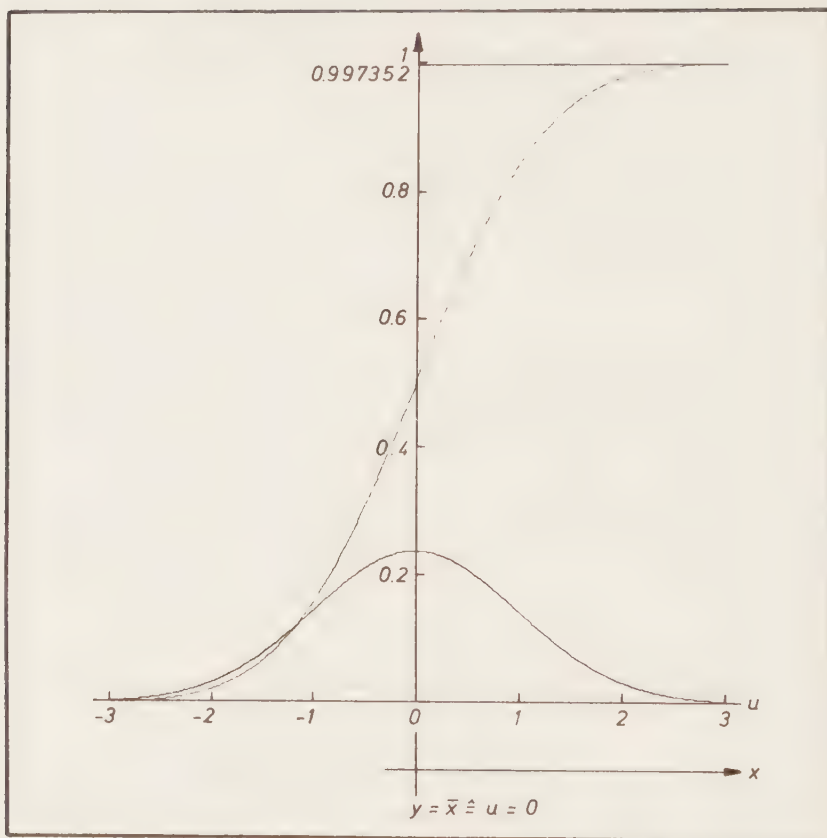


Die nach der Verteilungs- oder Summenfunktion ermittelte integrierte Dichte zeigt, da sie nur aus der gemeinsam überdeckten Fläche bestimmt ist, ebenfalls die gemeinsame Wahrscheinlichkeit des Ereignisses an.



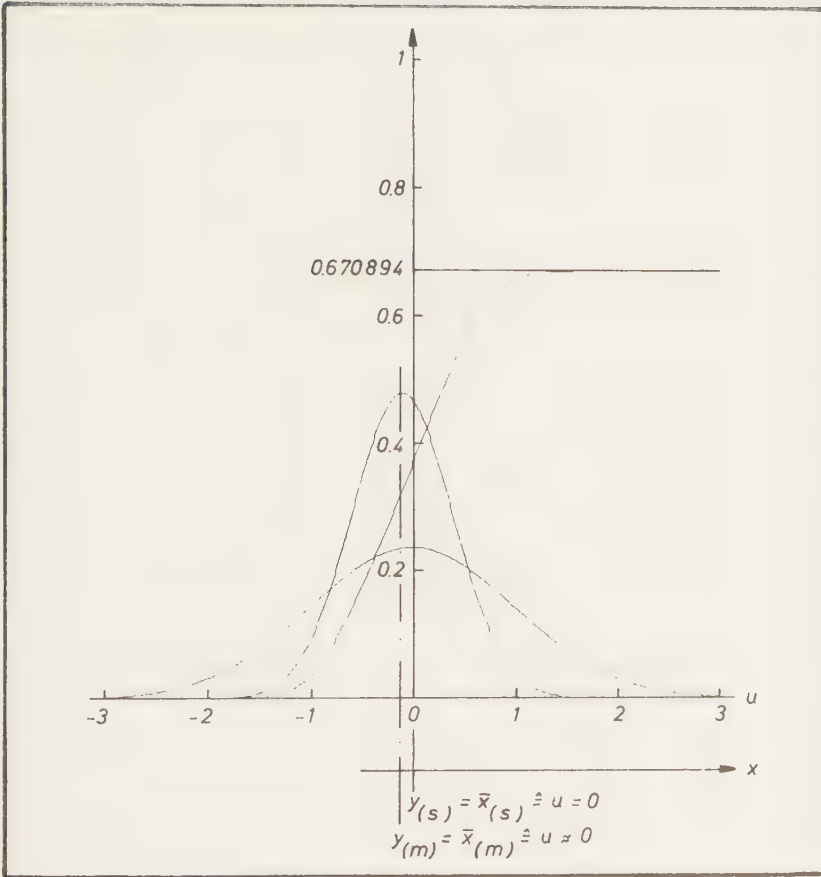
1. Normalverteilung der männlichen Rippen zwischen 18 und 45 Jahren

Dargestellt ist die Dichte der Bruchbiegespannungen der männlichen Rippen mit arithmetischem Mittelwert $\bar{x} = 19,21 \text{ kp/mm}^2$ über der 3-fachen Standardabweichung $s = 6,33 \text{ kp/mm}^2$. Der Flächeninhalt unter der Glockenkurve ist mittels der Summenfunktion als Integral $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$ bestimmt.



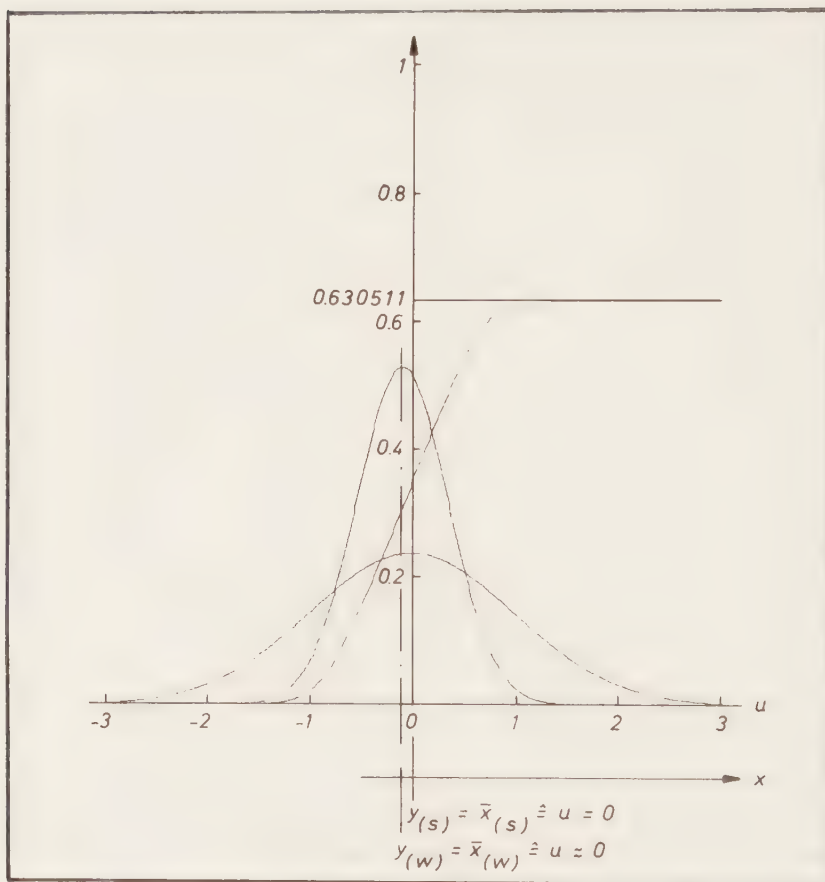
2. Normalverteilung der Schweinerippen

Dargestellt ist die Dichte der Bruchbiegespannungen der Schweinerippen über der 3-fachen Standardabweichung. Das Kurvenmaximum liegt bei $\bar{x} = 20,89 \text{ kp/mm}^2$. Die Kurve wirkt gegenüber der Normalkurve der männlichen Bruchbiegespannungsdichte gestaucht, weil ihre Standardabweichung s mit $16,8 \text{ kp/mm}^2$ etwa doppelt so hoch ist, wie die der männlichen Rippen. Die Integrationskurve verläuft definitionsgemäß gegen 1 und veranschaulicht den Flächeninhalt unter der Glockenkurve.



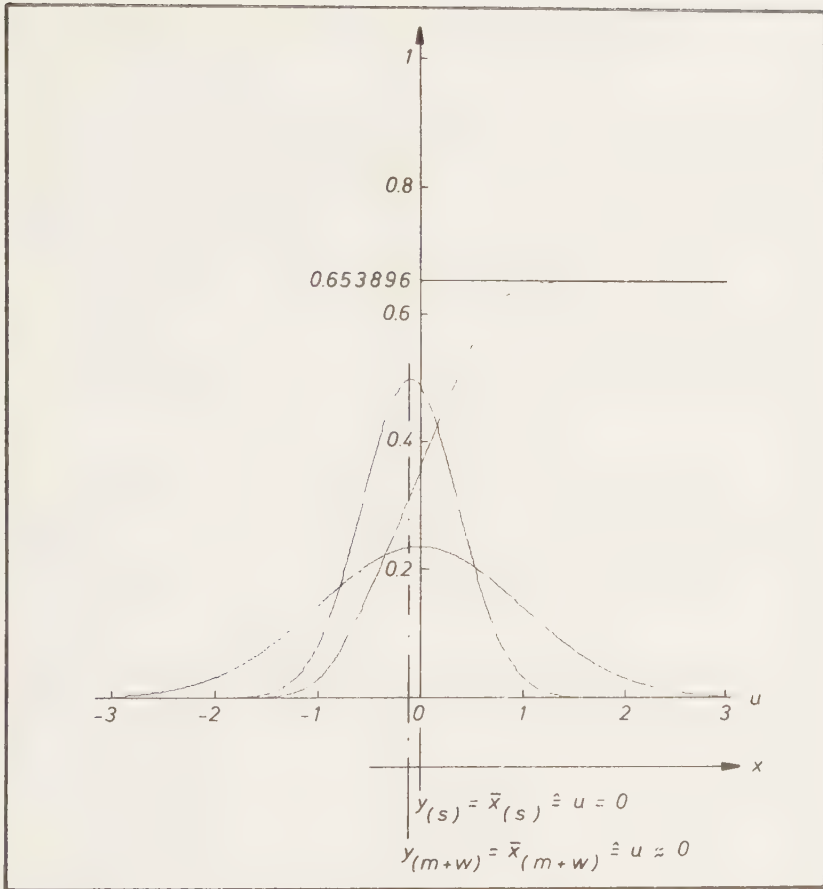
3. Normalverteilungskurven der männlichen Rippen zwischen 18 und 45 Jahren und der Schweinerippen

Dargestellt sind die Dichteverteilungen der Bruchbiegespannungen der männlichen (m) und der Schweinerippen (s). Die Kurvenmaxima liegen dicht beieinander. Die von beiden Kurven umschlossene Fläche entspricht der Wahrscheinlichkeit gemeinsamer Bruchbiegespannungen und wird durch die Integrationskurve veranschaulicht. Zu 67,1 % besteht die Wahrscheinlichkeit gleicher Festigkeitseigenschaften bei männlichen Rippen



2.2. Normalverteilungskurven der weiblichen Rippen zwischen 18 und 45 Jahren und der Schweinerippen

Dargestellt sind die Dichteverteilungen der Bruchbiegespannungen der weiblichen (w) und der Schweinerippen (s). Die Kurvenmaxima liegen dicht beieinander. Die von beiden Kurven umschlossene Fläche zeigt die Integrationskurve. Zu 63,1 % der Untersuchungsergebnisse besteht die Wahrscheinlichkeit gleicher Bruchbiegespannungen bei weiblichen Rippen und Schweinerippen.



5. Normalverteilungskurven der menschlichen Rippen zwischen 18 und 45 Jahren und der Schweinerippen

Übereinandergeplottet sind die Dichteverteilungen der menschlichen ($m+w$) und der Schweinerippen (s). Die Kurvenmaxima liegen dicht beieinander. Die von beiden Glockenkurven umschlossene Fläche entspricht der Wahrscheinlichkeit gemeinsamer Bruchbiegespannungen und wird durch das Integral dargestellt. 1 65,4 % der Untersuchungsfälle besteht die Wahrscheinlichkeit gemeinsamer Bruchbiegespannungen zwischen Menschen- und Schweinerippen.

VII. D I E S T R A ß E N V E R K E H R

Der ständig zunehmende Straßenverkehr zieht ein Ansteigen der Verkehrsunfälle und der dadurch bedingten Todesfälle nach sich.(54) Entsprechend nimmt das Sicherheitsbedürfnis zu. Gesetzliche Vorschriften, Aufklärung und frühzeitige Verkehrserziehung sind wirksame Schutzmaßnahmen und helfen mit, die absoluten Zahlen der Verkehrsunfälle nicht in immense Höhen ansteigen zu lassen. Weiterhin ermöglichen sie die Bildung eines Sicherheitsverlangens unter den Verkehrsteilnehmern, das auch zur Anwendung vorhandener Schutzhilfen führt.

Die besonders auf den Kraftfahrzeugverkehr ausgerichtete Unfallforschung beschäftigt sich seit 25 Jahren mit dem Problem der äußeren und inneren Sicherheit und dem Zusammenhang zwischen Unfallvorgang und aufgetretenen Verletzungen.

Bekannt ist, daß Verletzungen entstehen, wenn auf den Körper einwirkende äußere Kräfte die mechanische Belastbarkeit der menschlichen Körperteile überschreiten. Die häufigste Ursache von Verkehrsunfällen ist eine stoßartig auftretende negative Beschleunigung infolge der Bremswirkung. Dabei kommt es nach physikalischen Gesetzen zu einer Deformationsarbeit, deren Verteilung auf die Stoßpartner von ihrer jeweiligen örtlichen Festigkeit bestimmt wird. Nur wenn die Festigkeit möglicher Aufprallstellen in Fahrzeugen etwas kleiner ist als die Festigkeit des aufprallenden Körperteiles, kann die anfallende Deformationsarbeit soweit aufgenommen werden, daß der für den Menschen verbleibende Anteil keine Verletzungen hervorruft.(vgl. 53,54 u.a.)

Mit der Frage, wie groß die bis zur Verletzung aufnehmbare Deformationsarbeit einzelner Körperteile sein darf, beschäftigt sich die biomechanische Forschung. Dazu gehört ebenfalls

die Kenntnis erträglicher Kräfte bzw. Beschleunigungen in den einzelnen Körperteilen und auslösbarer Abstützkräfte vor einem Aufprall. Ziel dieser Forschung ist die Entwicklung von Erträglichkeitswerten für die verschiedenen Körperabschnitte und die Anpassung des dynamischen Verhaltens der Kraftfahrzeuge und spezieller Sicherheitseinrichtungen an diese physiologischen Normen. Das System Fahrzeug-Sicherheitskonstruktion-Mensch soll eine Einheit bilden. (60, vgl. 30, 34, 52, 100 u.a.)

Voraussetzung für experimentelle Untersuchungen der Verletzungsmechanik und Belastbarkeit des menschlichen Körpers anhand unterschiedlicher Modellversuche ist die Ansammlung von Unfallerfahrungen, deren statistische Auswertung und das Zugeständnis einer großen biologischen Streubreite. Die mechanische Belastbarkeit des menschlichen Körpers ist abhängig von Alter, Geschlecht, Körperbau, Größe, Muskulatur- und Ernährungszustand, Knochenstruktur und Mineralsalzgehalt, Grad der Aufmerksamkeit, Reaktionsfähigkeit und -geschwindigkeit, Art, Intensität, Größe, Richtung, Dauer und Häufigkeit der Gewalteinwirkung. Alle positiv beeinflussenden Faktoren steigern die Belastbarkeit, wie alle negativen sie verringern. (43, 48, 49, 58, 91, 100, 135 u.a.)

Versuche mit freiwilligen Versuchspersonen lassen ein mittleres Maß für die menschliche Belastbarkeit zu. Meist handelt es sich dabei jedoch um jüngere, kräftige, auf den Aufprall gefaßte Personen, die sich verständlicher Weise nicht maximal belasten lassen.

Untersuchungen mit menschlichen Leichen scheitern meist aus ethischen Gründen. Wo sie durchgeführt werden können, handelt es sich um ältere, in Krankenhäusern verstorbene Personen, deren Körper keinen wesentlichen Belastungen standhalten.

Um zu reellen Festigkeitswerten zu gelangen, mußten andere Wege gefunden werden. Die auftretenden Kräfte an einzelnen Körperpartien, Verletzungen bis zur völligen Destruktion und unterschiedliches Verhalten zwischen lebenden und toten Körpern sowie deren Bestandteile wurden anhand von Tierversuchen registriert. Es wurde versucht, die ermittelten Werte auf die Verhältnisse des Menschen zu übertragen. Dabei stieß man auf Probleme, die jedoch durch weitere Forschungen richtungsweisend gelöst werden konnten. So fanden beispielsweise Life und Pince (95) anhand von Affenversuchen, daß sich lebende und präparierte Gewebe unterschiedlich verhalten. Die Festigkeit lebender Weichteile sei geringer, die der Knochen hoch. Genau umgekehrt verhalte sich präpariertes Gewebe. Greenberg et al. (65) beschreiben aber größere Unterschiede zwischen den Knocheneigenschaften der einzelnen Individuen als beim Übergang eines Knochens vom lebenden zum frisch entnommenen und zum präparierten Zustand. Der geringste Unterschied besteht zwischen lebenden und gerade entnommenen Knochen. Besonders wichtig erscheint nach Ehler (49) in diesem Zusammenhang, daß die Knochenfestigkeit wesentlich vom Periost mitbestimmt wird.

Aus Untersuchungen über den Kalksalzgehalt menschlicher Knochen ist bekannt, daß er von vielen Faktoren abhängig, jedoch zwischen dem 15. und 45. Lebensjahr relativ konstant ist und später rasch ansteigt. Der Gehalt an Wasser und Chondroitinschwefelsäure nimmt entsprechend ab. Der Knochen wird mit zunehmendem Alter spröder. (vgl. 4,39,40,77,79,91,102,135)

Bei Betrachtung der Bruchformen fand Haase (67,69) keine Verhaltensdifferenzen zwischen Knochen und bestimmten Werkstoffen. Auch lassen sich keine Schlüsse auf die Beanspruchungsart ziehen, die zum Bruch geführt hat. Die Ergebnisse statischer Bruchversuche dürfen, so Patscheider (106), nicht zur Deutung dynamisch bedingter Frakturen herangezogen werden. Schon Messerer (100) fand 1880 unterschiedliche Bruchformen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Gewalteinwirkung.

Langsame Beanspruchung führt regelmäßigere, ortsfernere, rasche unregelmäßigere, am Ort der Gewalteinwirkung entstehende Frakturen herbei. Auch sei die Richtung der Gewalteinwirkung von Bedeutung.

Die ersten rekonstruierbaren Unfallnachahmungen fanden mit damals noch sehr plumpen Dummies statt. Sie waren dem Menschen nur in Größe, Gewicht und Schultergelenk annähernd ähnlich. Immerhin ließen sich so Unfallvorgänge studieren und Gurte entwickeln, die ein Hinausschleudern aus Fahrzeugen verhindern und Schutz vor dem Aufprall auf Fahrzeuginnenteile bieten. (76, 118 u.a.)

Die Schutzfunktion von Gurten ist unbestritten und mehrfach statistisch gesichert (Campbell-Cornell-Gruppe). Die Unfallfolgen sind wenigstens um eine Stufe geringer. Bis 80 % aller Verletzungen bei Unfällen und um 65 % aller Todesfälle lassen sich durch richtiges Tragen der Gurte vermeiden. (0, 23, 55, 96 u.a.)

Die in der Literatur beschriebenen bauarttypischen Verletzungen durch Gurte, bei denen Brustkorb, Oberbauch und Wirbelsäule besonders gefährdet sind, boten ständig Anhaltspunkte zur weiteren Verbesserung der Gurte. Einen wesentlichen Vorteil brachte der Einbau plastischer Dehnglieder an Schulter- und Hüftregion eines möglichst steifen Bandes. Somit ergeben sich geringere Gurtkräfte in allen Teilen. Die Gurte sollen ja schützen, ohne selbst Verletzungen zu verursachen. (3, 55, 66, 139 u.a.)

Die bei Kollisionstesten mit Gliederpuppen, die den menschlichen Verhältnissen angepaßt sind, gemessenen mittleren Verzögerungen an einzelnen Körperpartien weisen zwar in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit breite Streuwerte auf, lassen aber keinen Zweifel an den Größenordnungen der auftretenden Verzögerungskräfte. (54, 103, 132)

Die Frage, welcher Krafteinwirkung der menschliche Thorax standhalten kann, wird auf dem Umweg über die Belastbarkeit von menschlichen und Schweinerippen näherungsweise geklärt.

Unfallstatistische Untersuchungen zeigen, daß etwa 50 % aller Thoraxtraumen durch Verkehrsunfälle verursacht sind. Die Mortalitätsrate schwankt zwischen 12,4 % (Huber in 82) und 25 % (Voigt 136), da in 70 % der Fälle weitere Verletzungen hinzutreten. Schriefers (128) beschreibt bei Verletzungen durch Lenkradaufprall Kombinationsverletzungen, bei denen der Thorax in 91 % der Fälle betroffen ist. Rippenfrakturen finden sich in 56 % der Fälle. Die Mortalität bei einseitigen Rippenfrakturen beträgt zwischen 16 und 27 %, die bei doppelseitigen 75 %. Wie Solheim (zitiert in 82 S. 164) in 13,6 %, fand auch er schwerwiegende Organverletzungen bei intakter Haut und unversehrten Rippen. Nach Bauer (14) kam es in 11,37 % zu letalen Ausgängen ohne Skelettbeteiligung. Das Durchschnittsalter wird unterschiedlich mit 37 bzw. 21 Jahren angegeben. Nach dem 50. Lebensjahr werden nach Bauer keine intrathorakalen Verletzungen ohne Rippenfraktur mehr gefunden.

Unter Gewalteinwirkung brechen durch ihre anatomisch hervorspringende Lage nach unterschiedlichen Angaben meist die 3. bzw. 4. - 8. (Voigt 136, Krauß in 28), 5. - 9. bzw. 10. (Bartel 7, Dunant 46), 6. - 7. (Heymer 78), 3. - 6. linken und 6. - 7. rechten Rippen (Patrick 104). Die beiden letzten Gruppen scheinen besonderen Gurtbelastungen ausgesetzt zu sein.

Die Auswahl der 6. Rippe für die Untersuchungen erfolgte aus diesen Gründen.

Alle seit dem 1.1.1974 neu zugelassenen Kraftfahrzeuge bis zu 2,8 Tonnen Gesamtgewicht müssen serienmäßig mit 3-Punkt-Sicherheitsgurten ausgerüstet sein. Eine ADAC-infratest-Untersuchung zeigt, daß augenblicklich etwa 34 % aller Kraftfahrzeuge dieser Anforderung genügen. 1971 besaßen bereits 25 %

der deutschen Autofahrer Gurte. Getragen werden die Gurte allerdings bei längeren Strecken nur von etwa 50 % und im Stadtverkehr sogar von weniger als 10 % derer, die Gurte besitzen (2,134). Ähnliche, wenig ermutigende Ergebnisse berichtet Henderson (75) von einer Untersuchung in Australien 1972. (Nach Inkrafttreten eines Gesetzes, das zum Tragen der Gurte verpflichtet, stieg in Victoria die Benutzungsrate allerdings auf 75 - 80 %.) Von denen, die sich schützen wollen, werden noch in einem beachtlichen Maß die Gurte falsch, nämlich viel zu locker getragen. Die Lockerheit des Gurtes wird nach Fiala (55) "Lose" genannt. Nach Untersuchungen von Fiala u.a. ist der Gurt ab 20 cm Lose unwirksam.

Anthropometrische Puppen werden bei Car-crash-Festen benutzt, um beispielsweise die Reaktion des menschlichen Körpers auf Beschleunigungskräfte zu studieren und zur Prüfung, ob Sicherheitsvorkehrungen das Verletzungsrisiko herabsetzen. Die Dummies sind dem Menschen in Größe, Gewicht, Körperbau, Beweglichkeit und Dichte nachgebildet. Es gibt männliche, weibliche und kindliche Nachahmungen. Ihre Abmessungen entstammen Stichprobenmessungen der amerikanischen Bevölkerung.

Fiala u.a. (56) fanden anhand von Katapultversuchen mit anthropometrischen Puppen beim Tragen von 3-Punkt-Gurten ohne Lose eine Thoraxbelastung von 1330 kp. Gurte müssen diesen Belastungen wenigstens standhalten, dürfen jedoch keine höhere Festigkeit aufweisen als der menschliche Thorax, um ihn nicht zu verletzen.

Aus Leichenversuchen von Patrick (103) und Burow (33) ergaben sich unter realen Kraftfahrzeugunfallbedingungen mittlere Thoraxbelastbarkeiten um 680 kp. Die von Stapp (132) gefundenen, wesentlich höheren Werte entstammen Versuchen mit jungen, kräftigen, freiwilligen, männlichen Versuchspersonen. Aus Untersuchungen mit toten und lebenden Schweinen ermittelte von Kurnatowski (93) eine mittlere Thoraxbelastbarkeit von 1200 - 1400 kp.

Anhand seiner Katapultversuche stellt Stapp (132) fest, daß eine Abhängigkeit besteht zwischen der maximalen Beschleunigungsverträglichkeit des menschlichen Körpers, der Gesamtdauer der Beschleunigung bzw. Verzögerung, deren Anstiegsrate, Häufigkeit und Kraftverteilung über den Körper. Je kürzer der Stoß bei möglichst langsamer Änderungsrate dauert, um so höhere Stoßkräfte kann der menschliche Körper bei deren gleichmäßiger Flächenverteilung ohne nachteilige Folgen ertragen. Die Beschleunigungen werden als Vielfaches der Fallbeschleunigung g angegeben. Eine g - Einheit ist dabei dem Gewicht des Stoßobjektes, des menschlichen Körpers also, äquivalent. Bei einer Stoßdauer von weniger als 100 Millisekunden können 40 - 80 g ohne irreversible Schäden ertragen werden. Bei längerer Stoßdauer sinkt die Belastbarkeit auf Werte zwischen 11 und 12 g , was einer Kraft von etwa 770 bis 840 kp entspricht. Schreck (127) ermittelte bei seinen Versuchen mit Schweinen etwa gleich hohe Werte. Diese Belastbarkeiten gelten allerdings für den gesamten Körper und sind nicht ohne weiteres auf einzelne Regionen übertragbar. Auch sind die Bedingungen dem realen Kraftfahrzeugunfall wenig angepaßt. Immerhin scheinen Versuchsergebnisse von Untersuchungen mit Schweinen auf die menschlichen Verhältnisse übertragbar zu sein.

Nimmt man die geringen Körperbaudifferenzen in Kauf, so läßt sich ein im Gewicht an den Menschen angepaßtes, sediertes Schwein etwa mit einem sorglosen, möglicherweise schlafenden, normalgroßen, knochengesunden Beifahrer mittleren Alters vergleichen. Durch 3-Punkt-Gurte gesichert, würde bei einem der mit 50 % Häufigkeit angegebenen Frontalunfälle nach Fiala (56) eine Thoraxbelastung von 1330 kp erfolgen. Die Einführung von Dehngliedern in die in 45 Grad zur Fahrtrichtung montierten wenigstens 7,5 cm breiten 3-Punkt-Gurte verringert die Thoraxbelastung. Die Höhe der zu fordernden Energieabsorption durch Dehnglieder ist von der Thoraxbelastbarkeit des menschlichen Körpers abhängig. Die durch den

Gurt übertragene Restenergie darf, um Frakturen zu vermeiden, keinesfalls höher sein als die aufnehmbare Deformationsenergie. Sie sollte möglichst etwas kleiner sein.

Es ist die Regel, die Belastbarkeit eines Systems an seinem schwächsten Glied zu messen. So scheint es sinnvoll, die Festigkeit des Thorax an den durch ihre anatomische Lage und nach unfallstatistischen Angaben am häufigsten durch Gurtbelastung verletzten Teilen, wie den aus den oben angegebenen Gründen gewählten sechsten Rippen, zu ermitteln. Beim Frontalunfall entspricht die Beanspruchung der Rippe durch den Gurt einer senkrechten Druckbelastung, die wegen der Kraftverteilung im Gurt relativ langsam erfolgt. Unter Druckbelastung einzelner Rippen bricht die Rippe regelmäßig einige Zentimeter von ihren Belastungspunkten entfernt, unabhängig von ihren Abmessungen. Meist läßt sich die Fraktur als Biegebuch mit querlaufendem Bruchspalt oder Torsionsfraktur mit unterschiedlich schräg zur Rippenachse verlaufendem Bruch denken.

Die biologische Streubreite (Variationskoeffizient) beträgt beim Menschen geschlechtsunabhängig zwischen Geburt und Tod für die Rippenlänge 55,4 %, für die Rippenkrümmung 21,7 %, für die Rippenbreite 19,8 %, für die Rippendicke 24,6 %, für die Bruchbiegespannung 53,5 % und für die aufnehmbare Deformationsenergie sogar 89,5 %.

Sicherheitsgurte für Säuglinge und Kinder haben von der Statistik her gesehen wenig Bedeutung. Für sie werden eigene Halterungen und Sitze entsprechend ihrem Alter entwickelt.(1) Glaubt man weiterhin der Statistik, so sind etwa 65 % aller an Verkehrsunfällen beteiligten Personen, jedenfalls in Berlin, zwischen 18 und 45 Jahre alt.(122) Diesen Altersbereich gilt es vornehmlich vor zu hoher Gurtkraft zu schützen, denn um 75 % aller Verkehrsunfälle finden mit Kraftfahrzeugen statt und etwa 20 % aller Thoraxtraumen gehen mit Rippeneinzelfrakturen einher, die sich wie die meisten Todesfälle durch geeignete Gurte vermeiden ließen.

Bei der Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer beträgt der Variationskoeffizient der Rippenabmessungen ca. 15 %, der Bruchbiegespannung ca. 40 % und der aufnehmbaren Deformationsenergie ca. 67 %. Dabei bleibt ungeachtet, daß auch in der vorliegenden Untersuchung 20 % aller Rippen, besonders die jüngerer Personen, maximaler Druckbelastung standhielten, jedoch nicht brachen. Das entspricht etwa der Häufigkeit schwerer intra-thorakaler Verletzungen bei intakten Rippen. (Solheim, zitiert in 82, Bauer, 14) Diesem Personenkreis wird eine Begrenzung der Gurtkräfte wenig dienlich, aber auch nicht nachteilig sein. Allzu geringe Belastbarkeit durch hohes Alter oder krankheitsbedingte Minderung der Rippenfestigkeit machte weniger als 4 % der Untersuchungen aus. Für diesen Personenkreis bedeutet jede Krafteinwirkung eine Verletzung.

Schweinerippen verhalten sich unter Druckbelastung den menschlichen vergleichbar. Die Streubreite ihrer Abmessungen, ihrer Bruchbiegespannung und Deformationsenergie liegen ebenfalls in der gleichen Größenordnung.

Unter der Voraussetzung einer Normalverteilung entsprechen sich die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens gleicher Festigkeitseigenschaften von Menschen- und Schweinerippen in 65,4 %.

Untersuchungen mit Schweinen lassen hiernach durchaus Rückschlüsse auf die menschliche Belastbarkeit zu. Anhand von Untersuchungen mit lebenden und toten Schweinen hat sich außerdem keine Änderung in der Toleranz einem Trauma gegenüber gezeigt. (von Kurnatowski 93)

Nach v. Kurnatowski (93) ist es folglich ebenfalls möglich die aus Versuchen mit menschlichen Leichen gewonnenen Festigkeitsdaten auf den lebenden Menschen zu übertragen.

Die mittlere aufnehmbare Deformationsenergie einer isolierten menschlichen Rippe beträgt bei einer 67 %igen Streubreite etwa 444 mm kp. Auf diese mögliche, geringe Energieaufnahme müßten die Sicherheitsgurtkräfte begrenzt werden, wenn das Verhalten einzelner Rippen Verstorbener dem der im Verband stehenden lebender Menschen gleichgesetzt wird.

VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse

3-Punkt-Sicherheitsgurte sind ein wirksamer Schutz der Kraftfahrzeuginsassen bei Verkehrsunfällen. Bei Frontalunfällen treten jedoch durch die Gurtbelastung häufiger Rippenfrakturen auf. Die Einführung von Dehngliedern in die Gurte führt zu einer Verminderung der auftretenden Gurtkräfte, wodurch das Auftreten von Rippenfrakturen reduziert wird.

Die Belastbarkeit von lebenden und toten Schweinen sowie das Ausmaß von Körperverletzungen durch Gurte bei Frontalaufprallversuchen sind im Rahmen der gleichen Forschungsreihe untersucht worden. Wesentliche Unterschiede in den Ergebnissen fanden sich nicht, wohl aber große individuelle Differenzen. Demnach müßten Untersuchungsergebnisse aus Versuchen mit menschlichen Leichen auf den lebenden Menschen übertragbar sein. In welchem Maß Ergebnisse von Versuchen mit Schweinen auf den Menschen übertragbar sind, ist nicht geklärt.

In der vorliegenden Arbeit wird die Festigkeit einzelner menschlicher Rippen unter Druckbelastung untersucht, um ein Maß für die aufnehmbare Deformationsenergie des menschlichen Thorax zu erhalten. Anhand von Vergleichsuntersuchungen an Schweinerippen wird festgestellt, wie weit die Festigkeitseigenschaften menschlicher Rippen mit denen der Schweine übereinstimmen.

400 menschliche und 40 Schweinerippen werden experimentell belastet. 20 % (80 menschliche Rippen) bzw. 10 % (4 Schweinerippen) der Rippen halten maximaler Biegungsbeanspruchung stand ohne zu brechen, 3,75 % (15 menschliche Rippen) brechen vorzeitig, d.h. halten keiner Biegungsbeanspruchung stand. Altersabhängigkeit und Geschlechtsunterschiede werden beschrieben.

Rippen männlicher Jugendlicher weisen bis zur sechsfachen mittleren Belastbarkeit auf. Vom 50. Lebensjahr an nimmt die Festigkeit ab. Geschlechtsunterschiede bestehen vornehmlich in den Rippenabmessungen. Die Festigkeit menschlicher Rippen ist geringer als die der Schweine.

In der am Straßenverkehrsunfall am häufigsten beteiligten Altersklasse zwischen 18 und 45 Jahren beträgt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens vergleichbarer Festigkeitseigenschaften zwischen Menschen- und Schweinerippen 65 %.

Menschliche Rippen können bei einer großen biologischen Streubreite nur wenig Deformationsenergie aufnehmen. Die gefundenen Werte variieren um 67 % und liegen in dem Altersbereich zwischen 18 und 45 Jahre bei 444 mm kp.

IX. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. ADAC (Hg.) Test: Sitze und Gurte für Kinder.
Motorwelt 4/72, 58-68.
2. ADAC (Hg.) "So einfach läßt sich der ADAC-Automatik-
gurt einbauen."
Motorwelt 9/71, 43.
3. Ahrer, E. Verletzungen des Brustkorbs im Frieden.
Hefte zur Unfallheilkunde 77, 10 (1964).
4. Arnold, J.S. Skeletal changes in aging and disease.
et al. Clin. Orthop. 49, 17-38 (Nov-Dez 1966).
5. Babione, R.W. Accidental Death in Military Vehicles
 (in Relation to the Use of Seat Belts).
U.S.Armed Forces Med.J. 10, 1500-1505
 (1956).
6. Backström, Traffic injuries in South Sweden with
C.G. special reference to medico-legal
 autopsies of car occupants and value of
 safety belts.
Acta chir. scand. (Suppl.) 308, 1 (1963).
zit. n. Chirurg 36, 141 (1965).
7. Bartel, M. Ein klinischer Beitrag zu den Rippenserien-
Steinberg, H. frakturen.
Mschr.f.Unfallheilk. 8, 329-336 (1969).
8. Bastiaanse, Seatbelt Restraining.
J.G. Vortrag beim Weltkongreß für Kraftfahrt
 medizin.
Abstr. Weltkongr. Kraftfahrtmed. Wien,
 Mai 1967.

9. Bastiaanse, J.C. Wirklichkeitsnahe Prüfung von Sicherheitsgurten.
Automobil Revue 59, Nr. 24, 3 (1964).
10. Bauer, K.H. Der Verkehrsunfall.
Monatskurse für die ärztl. Fortbildung
6, 230-239 (1958)
11. Bauer, K.H. Der Verkehrsunfall aus chirurgischer Sicht.
-- 11. Dt. Therap-Woche, 30.8.-5.9.1959 --
Medizinische 1959, 1794 (1959).
Ref.: Dtsch.Z.f.ges.gerichtl.Med. 50,
296 (1960).
12. Bauer, K.H. Grundsätzliches zur Frage der Unfallheilkunde.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 276, 280-287
(1953).
13. Bauer, K.H. Über Verkehrsunfälle aus der Sicht des Chirurgen.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 279, 141 (1954).
14. Bauer, K.H. Verkehrsunfälle - ein tragischer Tribut an den Triumph der Technik.
Ciba Symp. 5, 5 S. 148-161 (1957).
15. Baumgartel, E. Isolierte abdominelle Organverletzungen durch Sicherheitsgurte.
Steiner, H.
Mschr. Unfallheilk. 71, 265-267 (1969).
16. Beckmann, D.L. Reponse of the Primate Thorax to
Palmer, M.F. Experimental Impact.
13th Stapp Car Crash Conference
(Dec 2.-4-1969) Proceedings, 270-281.

17. Benninghoff, A. Lehrbuch der Anatomie des Menschen.
Geordtler, K. Bd. I : Allgem. Anatomie und Bewegungs-
apparat.
München - Berlin 1961.
18. Biener, K. Forschungsmethoden zur Unfallprävention.
Mschr. Unfallheilk. 76, 161-167 (1973).
19. Bierman, H.R. Protection of the Human body.
Wilder, R.M.jr. (Principles as Applied in a Restraining
Hellems, H.K. Harness for Aircraft Pilots.)
J.A.M.A. 133, 522-526 (1947).
20. Bierwag, K. Dekapitation durch unzumutbaren
Sicherheitsgurt.
Mschr. Unfallheilk. 73, 421-424 (1970).
21. Bitzel, F. Physikalischtechnische Probleme des
Straßenverkehrsunfalls.
aus: Laves-Bitzel-Berger
Der Straßenverkehrsunfall
Stuttgart 1956, 8-45
22. Böhler, L. Bericht über die bei 3308 Unterschenkel-
Bartl, K. et al. brüchen in den Jahren 1929-1950 im Wiener
Unfallkrankenhaus erzielten Behandlungsergebnisse unter Benützung des Hollerit-
verfahrens.
Hefte z. Unfallheilk. 54 (1957).
23. Bohlin, L.G. A Statistical Analysis of 28 000 Accident
Cases with Emphasis on Occupant Restraint
Value.
Proceedings of 11th Stapp Car Crash Conference (Oct 10.-11.1967) 299-308.

24. Braunstein, F.W. Medical Aspects of Automotive Crash Injury Research.
I.A.M.A. 163, 249-256 (1957).
25. Braunstein, F.W. Preliminary Findings of the Effect of
Moore, J.O. Automotive Safety Design on Injury
Wade, P.A. Patterns.
Surg. Gynec. and Obstetrics 105, 257-263
(1957).
26. Brenken, G. Systemvergleich zwischen Sicherheits-
gurt und Luftsack.
Z. f. Verkehrssicherheit 16 (1970)
Nr. 4, 297-304.
27. Buchner, H. Erfahrungen mit stumpfen Thoraxverletzun-
Kronberger, D. gen.
Chirurg. 30, 483-487 (1959).
28. Bürkle de la Verletzungen der Brustwand,
Camp, H. in: Handbuch der gesamten Unfallheilkunde.
Schwaiger, M. Bd. II. 360-363 (1966).
29. Büttner, G. Die Armaturenbrettverletzungen des
Friedhoff, E. Autoinsassen.
Zbl.Verkehrs-Med. 5, 201-210 (1959).
30. Büttner, G. Sicherheitsgurte für Kraftfahrzeuginsassen.
Friedhoff, E. Zbl.Verkehrs-Med. 6, 152-163 (1960).
31. Buntz, J. Der Verkehrsunfall.
Stuttgart (1938).

31. Burow, K.H. Injuries of the Thorax and of the Lower Extremities to Forces applied by Blunt Object.
Proceedings of 15th Conference of the AAAM (Oct. 20.-23.1971) 122-150.
33. Burow, K.
Kramer, M. Experimentelle Untersuchungen über die Art und Schwere von Frakturen am Brustkorb.
Proceedings of the International Conference on the Biokinetics of Impacts (June 26.-27. 1973) 387-389.
34. Campbell, H.E. The automobile seat belt and abdominal injury.
Surg.Gyn.Obstet. 119, 591-592 (1964).
35. Campbell, H.E. 33 Fatal crashes with seat belts.
Rocky Mtn. med. J. 61, 27-29 (1964).
36. Clauss, G.
Ebner, H. Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen.
Frkft. a. Main und Zürich 1971.
37. Crutcher, R.
Nolen, T.M. Multiple rib fracture with instability of chest wall.
J. thorac. Surg. 32, 15-21 (1956).
38. Crutcher, R.
Nolen, T.M. Traumatic pneumothorax without Rib Fracture.
J. thoracic Surgery 29, 621-625 (1955).
39. Currey, J.D. Stress concentrations in bones.
Quart.J.microsc.sci. 103 (1962) 111-133.

40. Currey, J.D. The mechanical consequences of variation
in the mineral content of bone.
Journal of Biomechanics, Vol 2. März 1969.
41. Currey, J.D. The mechanical properties of bone.
Clin.orthop. 73, 209-231 Nov./Dez. 1970.
42. De Haven, H. Beginnings of Crash Injury Research.
13th Stapp Car Crash Conf.
(Dec 2.-4. 1969) 422-428.
43. De Haven, H. Mechanical Analysis of Survival in Falls
from Heights of 50 - 150 feet.
War Med. 2, 586 (1942).
44. Dettling, J. Motorfahrzeugunfälle,
in: Dettling - Schönberg - Schwarz
Lehrbuch der gerichtlichen Medizin.
158-182 (1951).
45. Deutscher Nor- Statistische Auswertungsverfahren.
menausschuß DIN 55302 Blatt 1 und 2 (1967).
(DNA)
46. Dunant, J.H. Serial rib fractures. Accompanying
et al. injuries, complications, therapy.
Experience on 87 cases.
Prax. 56, 553-557 (20.4.1967).
47. Ed. Morphologische Unterschiede der Rippen
des Menschen und verschiedener Tiere.
(aus dem Russischen)
Ref.: Dt. Z. ges. gerichtl. Med. 61,
3, 234.

48. Ehler, J. Lange Röhrenknochen der menschlichen
oberen Extremitäten unter der Einwir-
kung einer Knicklast.
Wiss. Z. Univ. Rostock, math. nat. R.
14, 171-228 (1965).
49. Ehler, J. Randfaserspannungen an Humeri, Radii und
Ulnae.
Morphol. Jahrbuch 110, 3, 437-469 (1967).
50. Eickler, J. Sicherheitsgurte in Kraftfahrzeugen.
Zbl. Verkehrs-Med. 7, 209-214 (1961).
51. Ernst, H. Statistische Untersuchungen über Art
und Lokalisation der Verletzungen bei
Tod durch Verkehrsunfall.
Inaug.-Diss., Bonn 1962.
52. Fiala, E. Abstützkräfte von Fahrzeuginsassen bei
Auffahrunfällen.
Automobiltechn. Z. 71, 351-355 (1969).
53. Fiala, E. Physik des Verkehrsunfalles.
Hefte z. Unfallheilk. 99, 231-234 (1969).
54. Fiala, E. Zur Verletzungsmechanik bei Verkehrsun-
fällen.
Hefte z. Unfallheilk. 98, 31-52 (1969).
55. Fiala, E. Einflußgrößen für Sicherheitsgurte bei
Fabricius, B. Frontalunfällen.
Forsch. Bericht Nr. 20
Inst. f. Verkehr u. Berlin (1967).

65. Greenberg, S. Changes in Physical Properties of Bone
Gonzales, D. Between the In Vivo, Freshly Dead, and
Gurdjian, S.S. Embalmed Conditions.
Thomas, L.M. Proceedings of 12th Stapp Car Crash Conf.
 (Oct 22., 23. 1968) 271-279.
66. Grime, G. Safety cars.
 CIDITVA 26, 6-66.
67. Haase, W. Technisch-physikalische Untersuchungen
 an Knochenbrüchen.
 Bruns' Beitr. klin. Chir. 164, 243-263
 (1936).
68. Haase, W. Schubebene und Zerrüttungszone beim
 Knochenbruch.
 Arch.orthop.Unfall-Chir. 37, 592-599 (1937).
69. Haase, W. Knochenbrüche, beurteilt nach den Grund-
Richter, G. sätzen und Erkenntnissen der Mechanik.
 Arch.orthop.Unfall-Chir. 36, 541-556 (1936).
70. Haesner, A. Sicherheitsgurte für Kraftfahrer aus
 kraftfahrzeugtechnischer Sicht.
 Zbl. Verkehrs-Med. 8, 206-211 (1962).
71. Hamilton, J.B. Seat-belt injuries.
 Brit. med. J. I, 485-486 (1968)
 Ref.: Zbl. Verkehrs-Med. 15/16, 117
 (1969/70).
72. Hamon, J. Le Siege de Choc Peugeot a Absorption
Mauron, G. d'Energie.
 CIDITVA 36 - 12 - 68.

73. Hansen, O.M. Verkehrsunfälle mit Milzverletzung in
Rasmussen, P.S. Verbindung mit der Anwendung von Sicher-
 heitsgurten.
 Ugeskrift for leager 125, 771-773 (1963).
74. Haseloff, O.W. Kleines Lehrbuch der Statistik.
Hoffmann, H.J. Berlin (1965), 75-81.
75. Henderson, J.M. Seat Belts - Limits of Protection:
Wyllie, J.M. A Study of Fatal Injuries Among Belt
 Wearers.
 17th Stapp Car Crash Conf. Proceedings.
 (Nov 12.,13.1973) 35-66.
76. Hertzberg, H.T. The Anthropology of Anthropomorphic
 Dummies.
 13th Stapp Car Crash Conf. Proceedings.
 (Dec 2.-4.1969) 201-214.
77. Heuck, F. Die praktische Anwendung einer Methode
Schmidt, E. zur quantitativen Bestimmung des Kalk-
 salzgehaltes gesunder und kranker Knochen.
 Fortschr. Röntgenstr. 93, 523, 761-783
 (1960).
78. Heymer, G. Zur Frage der Operationsmöglichkeit von
Schweikert, C.H. Frakturen bei gleichzeitigem Thoraxtrauma.
 Hefte z. Unfallheilk. 99, 39-42 (1969).
79. Higasa, S. Biomechanical study on the human costal
 cartilage.
 - Dept. of Leg. Med., Fac. of Med.,
 Osaka Univ. Osaka -
 Jap. J. leg. Med. 12, Suppl. 151-162
 mit engl. Zus.-fass. (1958) Japanisch
 Ref.: Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. 48,
 545 (1959).

80. ...er, P. Das stumpfe Thoraxtrauma und seine
Komplikationen.
Diss. Düsseldorf 1962.
- ... Huelke, D.F. Synopsis of Anatomy and Medical Terminology.
SAE, Inc. Detroit, Michigan.
Jan 15.1970 S. 1-11.
82. Irmer, W. Dringliche Thoraxchirurgie.
Baumgartl, F. Berlin / Heidelberg / New York 1967,
Crewe, H.-E. 163-172.
...er, M.
83. Jurkeit, R. Sie sehen aus wie Menschen. Sie reagieren
wie Menschen. Und sie haben auch sonst
allerhand Menschliches an sich.
Motorwelt 4 (74), 102-104.
84. Kamiyama, S. Verletzungskombinationen bei tödlichen
Käppner, R. Verkehrsunfällen.
Schmidt, Gg. Mschr. Unfallheilk. 74, 10-30 (1971).
- ... Kappey, F. Das geschlossene Thoraxtrauma.
Erfahrungsbericht über 1258 Fälle.
Mschr. f. Unfallheilk. 8, 3-16 (1969).
86. Kazarian, L.E. Biomechanics of the Vertebral Column
Hahn, J.W. and Internal Organ Response to Seated
v. Gierke, H.E. Spinal Impact in the Rhesus Monkey
(Macaca Mulatta).
14th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 17.,18.1970) 121-143.

87. Keil, E. Die Beanspruchung von Autosicherheitsgur-
Werner, H. ten.
Eine rechnerische Untersuchung der Einfluß-
größen.
Automobiltechn. Z. 66, 189-197 (1964).
88. Keil, E. Verhalten von Sicherheitsgurten bei
Werner, H. dynamischer Belastung.
Materialprüfung Bd 6, Nr. 7, 229-235 (1964).
89. Kramer, M. Fracture Mechanism of Lower Legs Under
Burow, K. Impact Load.
Heger, A. 17th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 12.,13.1973) 81-100.
90. Kroell, Ch. Impact Tolerance and Response of the Human
Schneider, D.C. Thorax.
Nahum, A.M. 15th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 17.-19.1971) 84-134.
91. Krokowski, E. Quantitative Röntgenologische Bestimmung
des Skelettcalciumgehaltes.
Verh. Dtsch. Ges. Inn. Med. 71, 607-616
(1965).
92. Kulowski, J. Intraabdominal Injury from Safety Belt in
Rost, W.B. Auto Accident.
AMA Arch. of Surgery 73, 970-971 (1956)
Ref.: Zbl. Verkehrs-Med. 4, 110 (1958).
93. v. Kurnatowski, Biomechanische Untersuchungen über Ver-
H.-A. letzungen durch Sicherheitsgurte.
Inaug. Diss. Berlin 1970.
94. Kurok, W. Strangulation des Halses durch Sicher-
Nagel, M. heitsgurte.
Münchn. med. Wschr. 114, 1413 (1972).

95. Life, J.S. Comparative Response of Small and Medium
Pince, B.W. Sized Primates, Both Live and Embalmed,
to Impact Stress.
11th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Oct 10.-11.1967) 136-152.
96. Lindgren, St. Verletzungen durch Sicherheitsgurte.
Hefte z. Unfallheilk. 99, 246-249 (1969).
97. Mc Henry, R. Computer Simulation of the Crash Victim.
Naab, K.N. A Validation Study.
10th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 8.-9.1966) 73-94.
98. Marcoux, M.F. Coups et blessures mortelles.
Interprétation médico-légale des fractures
de côtes chez le jeune enfant.
- Soc. de Méd. lég. et Criminol.,
14.4.1958
Ann. Méd. lég. 38, 325-329 (1958)
Ref.: Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.
48, 616 (1959).
99. Mertz, H.J. Thoracic Tolerance to Whole-Body
Gadd, Ch.W. Deceleration.
15th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 17.-19.1971) 135-157.
100. Messerer, O. Experimentelle Untersuchungen über Schä-
delbrüche.
München 1884.
101. Neathery, K.F. Mechanical Simulation of Human Thorax
Lobdell, T.E. Under Impact.
17th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 12.,13.1973) 451-466.

102. Oeser, H. Die röntgenologische Objektivierung
Krokowski, E. der Osteoporose.
Radiol. clin. biol. 35, 31-42 (1966).
103. Patrick, L.M. Human Tolerance to Impact.
Mertz, H.J. SAE, Jan 15.1970, 90-103.
104. Patrick, L.M. Cadaver knee, chest and head impact loads.
Mertz, H.J. 11th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
Kroell, C.K. (Oct 10.-11.1967) 106-117.
105. Patrick, L.M. Impact Dynamics of Unrestrained Lap
Mertz, H.J.jr. Belted, and Lap and Diagonal Chest Belted
Kroell, C.K. Vehicle Occupants.
10th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 8.-9.1966) 22-53.
106. Patscheider, H. Über Anprallverletzungen der unteren
Gliedmaßen bei Straßenverkehrsunfällen.
- In Anlehnung an einen Vortrag auf der
Tagung der Dtsch. Ges. f. gerichtl. und
soz. Med. vom 30.10.1962 in Münster/Westf.-
Original: Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.
54, 336-366 (1963/64).
107. Petersen, H. Stumpfes Bauchtrauma mit retroperitonealer
Duodenalruptur.
Mschr. z. Unfallheilk. 76, 285-290 (1973).
108. Pribilla, O. Über einen neuen Schlüssel zur Datenver-
arbeitung bei tödlichen Verkehrsunfällen.
Hefte z. Unfallheilk. 94, 267 (1967).
109. Pribilla, O. Die Dokumentation und Datenverarbeitung
Peters, K. des tödlichen Verkehrsunfalles.
Hefte z. Unfallheilk. 98, 53 (1969).

110. Fribilla, G. Chirurgische und pathologisch - anatomische
Zöllner, A. Befunde bei Verkehrsunfällen.
Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. 54, 72-77
(1963/64).
111. Prokop, O. Rekonstruktion von Verkehrsunfällen aus
Radam, G. gerichtärztl. Sicht,
in: Handbuch der Verkehrsmedizin.
herausgeg. von Wagner, K. und Wagner, H.J.
Berlin/Heidelberg/New York (1968)
S. 952 ff.
112. Ramet, M. Etat de la question sur les tolerances
Cesari, D. du segment thoracique.
Proceedings of the IRCOB I June 26., 27. 1973
S. 367-386.
113. Reidelbach, W. Die Sicherheit des Insassen für Personen-
kraftwagen.
Technische Überwachung 7, 297-303 (1966).
114. Richter, W. Thoraximpression und begleitende Organ-
verletzungen.
Mschr. Unfallheilk. 109, 2480 (1967).
115. Ricklin, P. Der Straßenverkehrsunfall. Unfallmed. und
Unfallchirurgische Probleme.
- Chir. Univ. Klin. Zürich und Schweizer
Unfallversicherungsanstalt Luzern -
Helv. chir. Acta 25 Suppl. 9, 1-131 (1958)
Ref.: Dt. Z. f. ges. gerichtl. Med. 49,
295 (1959/60).

116. Ruff, S. Erfahrungen mit Sicherheitsgurten in der Luftfahrt.
(Vortrag anlässlich der Tagung über Sicherheitsgurte des Deutschen Medizin. Informationsdienstes e.V. am 14.5.1962 in Bonn)
Zbl. Verkehrs-Med. 8, 195-197 (1962).¹
117. Ruff, S. Über die Beschleunigungsfestigkeit des Menschen gegenüber einigen in der Fliegerei vorkommenden stoßförmigen Beschleunigungen.
Schriften d. Dt. Akademie der Luftfahrtforschung 47, 1941.
118. Ruff, S. Grundriß der Luftfahrtmedizin.
Strughold, H. München ³1957.
119. Ryan, G.A. A Study of Seat Belts and Injuries.
17th Stapp Car Crash Conference Proceedings (Nov 12.,13.1973) 67-80.
120. Seiffert, U. Der Gurt, der sich selbst anlegt.
Motorwelt 3/74, 36-37.
121. Seldmayr, G. Sicherheitsgurte für Kraftfahrer.
Tagungsbericht.
Zbl. Verkehrs-Med. 8, 240-247 (1962).
122. Senator für Wirtschaft
(Berlin) (Hg.) Bericht und Statistik über den Straßenverkehr und über Maßnahmen zur Hebung der Verkehrssicherheit in Berlin (West).
1972.

123. Siegel, A.W. Decline in Automotive Collision Injuries.
Runge, D.E. A ten year comparison of clinical cases.
Nahum, A.M. Proceedings of the 13th Annual Conf. of
the AAAM (Oct 16.,17.1969), 185-195.
124. Snyder, R.G. Impact Injury Tolerances of Infants and
Children in Free Fall.
Proceedings of the AAAM (Oct 16.,17.1969),
191-194.
125. Sund, Ch. Sicherheitsgurt und Duodenalverletzung.
Mschr. Unfallheilk. 76, 528-530 (1973).
126. Schleyer, F. Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen
Blutalkoholgehalt, Verletzungsart, Tod
und Art der Verkehrsteilnahme bei Straßen-
verkehrsunfällen.
Zbl. Verkehrs-Med. 3/4, 164, 200 (1960).
127. Schreck, R.M. Thoracic Impact: New Experimental
Viano, D.C. Approaches Leading to Model Synthesis.
17th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 12.,13.1973) 437-450.
128. Schriefers, K. Verletzungen durch Lenkradaufprall.
Hefte z. Unfallheilk. 99, 276-283 (1969).
129. Schulte, H.D. Synchondrolysen und Frakturen des Brust-
beins bei Kindern.
Mschr. Unfallheilk. 69, 517-524 (1966).
130. Stapp, J.P. Review of Air Force Research on Bio-
dynamics of Collision Injury.
10th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 8.,9.1966) 204-210.

131. Stapp, J.P. Quantitative Correlation of Impact and its Effects on the Living Body and its Surrogates.
15th Stapp Car Crash Conf. Proceedings (Nov 17.-19.1971) 804-808.
132. Stapp, J.P. Human Tolerance to Deceleration.
J. Aviation Med. 22, 42-45, 85 (1951).
133. Statistisches Statistisches Jahrbuch für die Bundes-
Bundesamt republik Deutschland.
Wiesbaden Stuttg. 1970 bis 1973.
134. Stratmann, J. Seit 1. Januar müssen alle neuen Autos
Sicherheitsgurte haben. Werden aber auch
überall die richtigen eingebaut?
ADAC Motorwelt 2/74 18, 19.
135. Strug, P. Röntgenologische und chemisch-analytische
Bestimmung des Calciumgehaltes im Knochen.
Inaug. Diss. Berlin 1964.
136. Voigt, G.E. Die Biomechanik stumpfer Brustverletzungen
besonders von Thorax, Aorta und Herz.
Hefte z. Unfallheilk. 98, 1-115 (1968).
137. Vollmar, J. Die typischen Verletzungen des Auto-
und Motorradfahrers.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 286, 54-90
(1957).
138. Weiler, G. Zur Traumatologie des tödlichen Sturzes
aus der Höhe.
Mschr. Unfallheilk. 76, 293-299 (1973).

139. Werner, H. Sicherheitsgurte für Kraftfahrer,
Wirkungsweise und Anforderungen.
Hefte z. Unfallheilk. 99, 241-246 (1969).
140. Williams, J.S. The Nature of Seat Belt Injuries.
14th Stapp Car Crash Conf. Proceedings
(Nov 17., 18. 1970) 44-65.
141. Wojahn, H. Tödliche Pfählungsverletzung des Brust-
korbes durch Lenkradschalthebel.
Mschr. Unfallheilk. 74, 90-93 (1971).
142. Ziffer, D. Beitrag über die Probleme der mechanischen
Widerstandsfähigkeit des menschlichen
Körpers.
CIDIIVA 22 - 6 - 1965.
143. Zurmühl, R. Praktische Mathematik für Ingenieure und
Physiker.
Berlin 1967.

X. A. C. r. i. C. e. e.

Diese Arbeit entstand auf Anregung von Herrn Professor Dr. med. W. Krauland, Leiter des Institutes für gerichtliche und soziale Medizin der Freien Universität Berlin, in Zusammenarbeit mit Herrn Professor Dr. techn. E. Fiala, dem damaligen Leiter des Institutes für Kraftfahrzeuge, dem heutigen Institut für Landverkehrsmittel an der Technischen Universität Berlin und in seiner Nachfolge Herrn Professor Dr.-Ing. H. Appel, im Rahmen eines Forschungsprogrammes des Vereins der Automobilindustrie e.V., Frankfurt/Main.

Ganz besonders danke ich Herrn Professor Dr. med. W. Krauland für die Überlassung des Themas und für die Betreuung der Arbeit. Er gab mir wertvolle Anregungen und ermutigte mich immer wieder. Er erteilte mir die Erlaubnis zur Entnahme der Versuchsobjekte und stellte mir während der Versuchsreihe einen Arbeitsraum zur Verfügung.

Weiterhin danke ich für die freundliche Unterstützung bei der Beschaffung weiterer Versuchsobjekte den Herren Professoren Maßhoff, Rommeney und Köhn.

Für die Konstruktion der Versuchsanlage und die technische Leitung danke ich Herrn Dr.-Ing. B. Fabricius und in dessen Nachfolge den Herren Dipl.-Ing. Richter, Oppermann und Voy, die mir auch bei der Erstellung der Computerprogramme und Plotter - Bilder behilflich waren.

Lebenslauf

Am 11.3.1943 wurde ich, Claudia Kohl geb. Bastini, als Tochter des Gerichtsassessors Robert Bastini und seiner Ehefrau Vera geb. Rieger in Altenberg im Erzgebirge geboren.

Meine Einschulung erfolgte am 1.9.1949 in die Malwida - von - Meysenburg - Schule in Berlin - Nikolassee. Nach der Grundschulzeit besuchte ich ein neusprachliches Gymnasium. Am 27. Februar 1963 bestand ich mein Abitur an der Liebfrauensschule in Berlin - Charlottenburg.

Nach einem Semester an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, begann ich mit dem Medizinstudium an der medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin, wo ich 1970 das Staatsexamen ablegte. Die Approbation als Arzt erhielt ich am 1.9.1971.

Anschließend arbeitete ich als Stationsärztin auf der Abteilung für langfristig Kranke im Städt. Rudolf - Virchow - Krankenhaus. Seit dem 1.6.1972 gehöre ich als wissenschaftliche Assistentin der Freien Universität Berlin an. An der Strahlen- und Poliklinik des Klinikum Westend stehe ich in der Facharztausbildung.

